



Docket No.: 50212-511

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
Yoshinori YAMAMOTO, et al.	:	Confirmation Number: 6259
Serial No.: 10/613,999	:	Group Art Unit: 2874
Filed: July 08, 2003	:	Examiner: Unknown
For: OPTICAL FIBER, DISPERSION COMPENSATOR AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM	:	

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

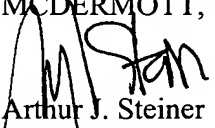
At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

Japanese Patent Application No. 2003-148117, filed May 26, 2003

A copy of the priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:tlb
Facsimile: (202) 756-8087
Date: October 16, 2003

50212-511
YAMAMOTO et al
July 8, 2003

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 2 6 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 4 8 1 1 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 4 8 1 1 7]

出 願 人 住 友 電 気 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 2 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 0 3 6 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0326

【提出日】 平成15年 5月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00
H04B 10/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 山本 義典

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 加藤 考利

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 横川 知行

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

【氏名】 藤井 隆志

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-192409

【出願日】 平成14年 7月 1日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-337010

【出願日】 平成14年11月20日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ、分散補償器及び光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-1200\ \text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $-600\ \text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散を有する光学部品と、

前記光学部品を収容するための、 $500\ \text{cm}^3$ 以下の体積を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 2】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-600\ \text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\ \text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散を有する光学部品と、

前記光学部品を収容するための、 $310\ \text{cm}^3$ 以下の体積を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 3】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-300\ \text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\ \text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散を有する光学部品と、

前記光学部品を収容するための、 $260\ \text{cm}^3$ 以下の体積を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 4】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-180\ \text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\ \text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散を有する光学部品と、

前記光学部品を収容するための、 $200\ \text{cm}^3$ 以下の体積を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 5】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において所定の累積波長分散を有する光学部品と、該光学部品を収容するための筐体とを備えた分散補償器であって、

前記筐体の体積 $V\ (\text{cm}^3)$ と前記光学部品の累積波長分散 $AD\ (\text{ps}/\text{nm})$ は、

$$V \leq -0.31 \times AD + 120$$

なる関係を満たすことを特徴とする分散補償器。

【請求項 6】 前記光学部品は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-140\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有する分散補償光ファイバを含むことを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 7】 前記筐体は、 $10\ \text{mm}$ 以下の高さを有することを請求項 2～

4 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 8】 前記分散補償光ファイバは、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域と、該クラッド領域の外周に設けられた、 $185\text{ }\mu\text{m}$ 以下の外径を有する被覆層を備えたことを特徴とする請求項 6 記載の分散補償器。

【請求項 9】 前記分散補償光ファイバの被覆層は、 $145\text{ }\mu\text{m}$ 以下の外径を有することを特徴とする請求項 8 記載の分散補償器。

【請求項 10】 前記分散補償光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ において 220 ps/nm/km 以下の波長分散を有することを特徴とする請求項 6 記載の分散補償器。

【請求項 11】 前記分散補償光ファイバは、ボビンに巻回された状態で前記筐体内に收容されていることを特徴とする請求項 6 記載の分散補償器。

【請求項 12】 前記分散補償光ファイバは、コイル状に巻回されており、当該コイル形状が保持された状態で前記筐体内に收容されていることを特徴とする請求項 6 記載の分散補償器。

【請求項 13】 前記分散補償光ファイバは、樹脂により前記コイル形状が保持されることを特徴とする請求項 12 記載の分散補償器。

【請求項 14】 前記分散補償光ファイバは、 60 mm 未満の内径でコイル状に巻回されていることを特徴とする請求項 11～13 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 15】 前記筐体の体積 $V\text{ (cm}^3\text{)}$ と前記光学部品の累積波長分散 $AD\text{ (ps/nm)}$ は、

$$V \leq -0.31 \times AD + 120$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 16】 波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ において 5.9 dB 以下の挿入損失を有することを特徴とする請求項 1 記載の分散補償器。

【請求項 17】 波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ において 3.9 dB 以下の挿入損失を有することを特徴とする請求項 2 記載の分散補償器。

【請求項 1 8】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $2.9\ \text{dB}$ 以下の挿入損失を有することを特徴とする請求項 3 記載の分散補償器。

【請求項 1 9】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $2.5\ \text{dB}$ 以下の挿入損失を有することを特徴とする請求項 4 記載の分散補償器。

【請求項 2 0】 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における挿入損失 $IL\ (\text{dB})$ と前記光学部品の累積波長分散 $AD\ (\text{ps}/\text{nm})$ は、

$$IL \leq -0.0033 \times AD + 1.9$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 2 1】 前記光学部品は、三重クラッド型屈折率プロファイルを有する光ファイバを含むことを特徴とする請求項 1 ～ 5 及び 1 5 ～ 2 0 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 2 2】 波長 $1550\ \text{nm}$ における諸特性として、直径 $60\ \text{mm}$ に巻かれた状態において $0.1\ \text{dB}/\text{km}$ 以下の曲げ損失を有することを特徴とする請求項 1 ～ 5 及び 1 5 ～ 2 1 のいずれか一項記載の分散補償器。

【請求項 2 3】 信号光を送信する送信器と、前記信号光が伝播する伝送用光ファイバと、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項記載の分散補償器と、前記信号光を受信する受信器とを備えた光伝送システム。

【請求項 2 4】 波長 $1550\ \text{nm}$ における諸特性として、
- $150\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散と、
直径 $60\ \text{mm}$ に巻かれた状態において $0.1\ \text{dB}/\text{km}$ 以下の曲げ損失を有する光ファイバ。

【請求項 2 5】 波長 $1550\ \text{nm}$ における諸特性として、絶対値が $0.4\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有することを特徴とする請求項 2 4 記載の光ファイバ。

【請求項 2 6】 波長 $1550\ \text{nm}$ の諸特性として、 $20\ \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積を有することを特徴とする請求項 2 4 記載の光ファイバ。

【請求項 2 7】 波長 $1550\ \text{nm}$ における諸特性として、直径 $60\ \text{mm}$ に巻かれた状態において $0.01\ \text{dB}/\text{km}$ 以下の曲げ損失を有する請求項 2 4 記

載の光ファイバ。

【請求項 28】 波長 1550 nm における諸特性として、 -200 ps/nm/km 以下の波長分散を有することを特徴とする請求項 24 記載の光ファイバ。

【請求項 29】 波長 1550 nm における諸特性として、直径 40 mm に巻かれた状態において 0.1 dB/km 以下の曲げ損失を有することを特徴とする請求項 24 記載の光ファイバ。

【請求項 30】 波長 1550 nm における諸特性として、直径 40 mm に巻かれた状態において 0.01 dB/km 以下の曲げ損失を有することを特徴とする請求項 29 記載の光ファイバ。

【請求項 31】 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 24 記載の光ファイバ。

【請求項 32】 所定軸に沿って伸びるとともに、所定の最大屈折率を有する中心コア部と、

前記中心コア部の外周に設けられ、該中心コア部よりも低い屈折率を有する第 1 クラッド部と、

前記第 1 クラッド部の外周に設けられ、該第 1 クラッド部よりも高い屈折率を有する第 2 クラッド部と、そして、

前記第 2 クラッド部の外周に設けられ、該第 2 クラッド部よりも低い屈折率を有する第 3 クラッド部とを備えた請求項 24 記載の光ファイバ。

【請求項 33】 前記中心コア部は、前記第 3 クラッド部の屈折率を基準として $2.0\% \sim 4.0\%$ の比屈折率差を有し、

前記第 1 クラッド部は、前記第 3 クラッド部の屈折率を基準として $-0.9\% \sim -0.2\%$ の比屈折率差を有することを特徴とする請求項 32 記載の光ファイバ。

【請求項 34】 前記第 2 クラッド部は、前記第 3 クラッド部の屈折率を基準として $0.2\% \sim 0.9\%$ の比屈折率差を有するとともに、

前記中心コア部の外径を a、前記第 1 クラッド部の外径を b、前記第 2 クラッド部の外径を c とするとき、

$$0.19 \leq a/c < 0.4 \quad \text{かつ}$$

$$0.4 \leq b/c \leq 0.8$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項 33 記載の光ファイバ。

【請求項 35】 前記第 2 クラッド部の外径が $\pm 2\%$ 変化したとき、波長 1550 nm における波長分散の変化は $\pm 12\%$ 以下であることを特徴とする請求項 32～34 のいずれか一項記載の光ファイバ。

【請求項 36】 波長 1.55 μm において $-390 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有する分散補償器であって、

請求項 24～35 のいずれか一項記載の光ファイバと、

前記光ファイバを収容するための、110 mm 以下 \times 110 mm 以下 \times 18 mm 以下の外寸を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 37】 波長 1.55 μm において $-640 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有する分散補償器であって、

外径 145 μm 以下の被覆層を有する、請求項 24～35 のいずれか一項記載の光ファイバと、

前記光ファイバを収容するための、110 mm 以下 \times 110 mm 以下 \times 18 mm 以下の外寸を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 38】 波長 1.55 μm において $-270 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有する分散補償器であって、

請求項 24～35 のいずれか一項記載の光ファイバと、

前記光ファイバを収容するための、110 mm 以下 \times 110 mm 以下 \times 14 mm 以下の外寸を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 39】 波長 1.55 μm において $-440 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有する分散補償器であって、

外径 145 μm 以下の被覆層を有する、請求項 24～35 のいずれか一項記載の光ファイバと、

前記光ファイバを収容するための、110 mm 以下 \times 110 mm 以下 \times 14 mm 以下の外寸を有する筐体とを備えた分散補償器。

【請求項 40】 所定軸に沿って伸びるとともに、所定の最大屈折率を有す

る中心コア部と、

前記中心コア部の外周に設けられ、該中心コア部よりも低い屈折率を有する第 1 クラッド部と、

前記第 1 クラッド部の外周に設けられ、該第 1 クラッド部よりも高い屈折率を有する第 2 クラッド部と、そして、

前記第 2 クラッド部の外周に設けられ、該第 2 クラッド部よりも低い屈折率を有する第 3 クラッド部とを備えるとともに、

波長 1 5 5 0 n m における諸特性として、 -150 ps/nm/km 以下の波長分散と、直径 6 0 m m に巻かれた状態において 0.01 dB/km 以下の曲げ損失を有する光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、分散補償可能な光ファイバ、分散補償器、及び該分散補償器を含む光伝送システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来技術】

従来、光ファイバ伝送路において発生する信号光の波長分散を低減する分散補償器は、 $230\text{ mm} \times 230\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ といった筐体サイズが一般的であり、光伝送システムの中で極めて大きな体積を占めている。これは、幹線系の長距離大容量伝送システムの場合、大きな波長分散を補償する必要があることから、分散補償器に適用される分散補償光ファイバの長さが十数 k m にも及んでしまう点や、広帯域にわたって波長分散を補償するために分散スロープの制御も重要となる点等に起因する。例えば、特開平 1 0 - 1 2 3 3 4 2 号公報では、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における諸特性として -100 ps/nm/km の波長分散を有する分散補償光ファイバが用いられている。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。

【0004】

すなわち、上記特開平10-123342号公報では、分散スロープも補償しながら波長分散の絶対値を大きくしようとしているが、該波長分散の絶対値は100 ps/nm/km程度であり、絶対値の大きな波長分散を補償するためには、ファイバ長が上述したように長くなってしまう。しかも、分散補償光ファイバが曲げに影響されやすくなり（曲げ損失の増加）、少しの歪で長波長側の伝送損失が増大する傾向がある。したがって、この分散補償光ファイバの巻径を小さくして、分散補償器（収納ケース）を小型化することは、伝送損失を増大させることになる。

【0005】

しかしながら、比較的短距離の光伝送を行うシステムにおいては、上述した分散スロープを補償する点を考慮する必要はない。したがって、分散スロープの補償を考慮しなければ、波長分散の絶対値が比較的大きい分散補償光ファイバの適用も可能となってくる。分散補償器のコンパクト化を図る技術として特開平10-115727号公報には、分散補償光ファイバの径を細くすることによるコンパクト化技術が開示されているが、この技術は該分散補償光ファイバの光学特性（特に、波長分散の絶対値）に着目した技術ではない。なお、上述の従来技術では分散スロープが大きいので、使用される信号チャネル間での波長分散が大きく異なってしまうが、分散スロープを小さくすることにより、より広い波長帯域に亘って同程度の波長分散を得ることができる（より広い波長帯域に亘って分散値のバラツキを低減することができる）。

【0006】

この発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、コンパクトな分散補償器、それを含む光伝送システム、該分散補償器の更なるコンパクト化を実現するための光ファイバを提供することを目的としている。

【0007】**【課題を解決するための手段】**

上述の目的を達成すべく、この発明に係る分散補償器は、所定の累積波長分散を有する光学部品と、該光学部品を収納する筐体とを備える。

【0008】

当該分散補償器において、上記光学部品によって波長 $1.55\mu\text{m}$ の分散特性として $-1200\text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $-600\text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散が実現される場合、上記筐体は、 500cm^3 以下の体積を有する。この場合、上記筐体は、その外寸（縦×横×高さ）が 170mm 以下× 170mm 以下× 17mm 以下であることが好ましい。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ における挿入損失は、 5.9dB 以下であるのが好ましい。

【0009】

また、この発明に係る分散補償器において、上記光部品によって波長 $1.55\mu\text{m}$ の分散特性として $-600\text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散が実現される場合、上記筐体は、 310cm^3 以下の体積を有する。この場合、上記筐体は、その外寸（縦×横×高さ）が 130mm 以下× 130mm 以下× 17mm 以下であることが好ましい。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ における挿入損失は、 3.9dB 以下であるのが好ましい。

【0010】

この発明に係る分散補償器において、上記光学部品によって波長 $1.55\mu\text{m}$ の分散特性として $-300\text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散が実現される場合、上記筐体は、 260cm^3 以下の体積を有する。この場合、上記筐体は、その外寸（縦×横×高さ）が 120mm 以下× 120mm 以下× 18mm 以下であることが好ましい。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ における挿入損失は、 3.5dB 以下、さらには 2.9dB 以下であるのが好ましい。

【0011】

この発明に係る分散補償器において、上記光学部品によって波長 $1.55\mu\text{m}$ の分散特性として $-180\text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $0\text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散が実現される場合、上記筐体は、 200cm^3 以下の体積を有する。この場合、上記筐体は、その外寸（縦×横×高さ）が 100mm 以下× 100mm 以下× 18mm 以下であることが好ましい。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ における挿入損失は、 2.5dB 以下、さらには 2.4dB 以下であるのが好ましい。

【0012】

さらに、この発明に係る分散補償器において、上記光学部品によって波長 $1.55\mu\text{m}$ の分散特性として -80ps/nm 以上かつ 0ps/nm 未満の累積波長分散が実現される場合、上記筐体は、 140cm^3 以下の体積を有する。この場合、上記筐体は、その外寸（縦×横×高さ）が 100mm 以下× 100mm 以下× 14mm 以下であることが好ましい。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ における挿入損失は、 2.2dB 以下であるのが好ましい。

【0013】

なお、上述のような -1200ps/nm 以上かつ 0ps/nm 以下の累積波長分散を実現する分散補償器に限らず、 -1200ps/nm 未満の累積波長分散を実現する分散補償器において、上記筐体の体積 $V(\text{cm}^3)$ と上記光学部品の累積波長分散 $AD(\text{ps/nm})$ は、

【0014】

$$V \leq -0.31 \times AD + 120$$

【0015】

なる関係を満たすのが好ましい。さらに、上記挿入損失 $IL(\text{dB})$ と上記光学部品の累積波長分散 $AD(\text{ps/nm})$ は、

【0016】

$$IL \leq -0.0033 \times AD + 1.9$$

【0017】

なる関係を満たすのが好ましい。

【0018】

上記光学部品は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において -140ps/nm/km 以下の波長分散を有する分散補償光ファイバを含んでもよく、また、他の光学部品の組み合わせであってもよい。例えば、信号波長帯域内の複数信号チャネルをそれぞれ異なる位置で反射するチャープドグレーティングと、該複数信号チャネルの信号光を入射するための第1端と該チャープドグレーティングが接続された第2端と該チャープドグレーティングからの反射光を出射するための第3端とを有する3端子サーキュレータとの組み合わせによっても所望の累積波長分散を発生させることができる。また、上記筐体は、当該分散補償器の設置環境等を考慮すれば

、1 0 mm以下、さらには6 mm以下の高さを有するのが好ましい。

【0 0 1 9】

上記光学部品として適用可能な分散補償光ファイバは、所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域と、該クラッド領域の外周に設けられた単層又は複数層から構成された被覆層を備え、該被覆層の外径は、1 8 5 μ m以下、好ましくは1 4 5 μ m以下、さらに好ましくは1 2 5 μ m以下である。

【0 0 2 0】

上記分散補償光ファイバは、より小径での保管・短尺化を可能にするため、波長1 . 5 5 μ mにおいて $-2 2 0$ p s / n m / k m以下の波長分散を有するのが好ましく、この場合、該分散補償光ファイバは、ボビンに巻回された状態で筐体に收容されていることが好ましい。また、上記分散補償光ファイバは、コイル状に巻回され、当該コイル形状が保持された状態で筐体に收容されていることが好ましい。さらに、上記分散補償光ファイバは、樹脂によりコイル形状が保持されることが好ましい。

【0 0 2 1】

上記筐体内の巻回された上記分散補償光ファイバの巻内径は、当該分散補償器のコンパクト化を実現するため、6 0 mm未満さらには5 0 mm以下であるのが好ましい。

【0 0 2 2】

上述のような構造を有する分散補償器（この発明に係る分散補償器）は、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を伝送する波長分割多重（Wavelength Division Multiplexing）伝送システム等の光伝送システムに適用可能である。このような光伝送システム（この発明に係る光伝送システム）は、信号光を送信する送信器と、多重化された信号光が伝播する伝送用光ファイバと、上記分散補償器と、信号光を受信する受信器を備える。この発明に係る光伝送システムは、1 . 5 5 μ m帯の光通信に有効であり、上記伝送用光ファイバの長さ（中継区間に相当するスパン長）が5 0 k m以下である場合に有効である。

【0 0 2 3】

なお、上述のような構造を有する分散補償器は、適用される分散補償光ファイバなどの光ファイバをより小径化・短尺化可能なように設計することにより、よりコンパクト化が可能である。

【0024】

具体的に、この発明に係る光ファイバは、波長 1550 nm における諸特性として、 -150 ps/nm/km 以下、好ましくは 200 ps/nm/km 以下の波長分散と、直径 60 mm に巻かれた状態において 0.1 dB/km 以下、好ましくは 0.01 dB/km 以下の曲げ損失を有する。このとき、当該光ファイバは、波長 1550 nm における諸特性として、絶対値が $0.4 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有するのが好ましく、また、波長 1550 nm の諸特性として、 $20 \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積を有するのが好ましい。

【0025】

また、この発明に係る光ファイバは、波長 1550 nm における諸特性として、 -150 ps/nm/km 以下、好ましくは 200 ps/nm/km 以下の波長分散と、絶対値が $0.4 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープと、 $20 \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積とを有してもよい。このとき、当該光ファイバは、波長 1550 nm における諸特性として、直径 60 mm に巻かれた状態において 0.1 dB/km 以下、好ましくは 0.01 dB/km 以下の曲げ損失を有してもよい。

【0026】

さらに、この発明に係る光ファイバは、波長 1550 nm における諸特性として、直径 40 mm に巻かれた状態において 0.1 dB/km 以下、好ましくは 0.01 dB/km 以下の曲げ損失を有する。また、この発明に係る光ファイバのカットオフ波長は、 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 、好ましくは $1.4 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $1.55 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ である。

【0027】

上述のような諸特性を有する、この発明に係る光ファイバは、上記分散補償器に定期要される場合に該分散補償器のコンパクト化を十分に可能にするため、三重クラッド型の屈折率プロファイルを有するのが好ましい。

【0028】

具体的にこの発明に係る光ファイバは、所定軸に沿って伸びるとともに、所定の最大屈折率を有する中心コア部と、該中心コア部の外周に設けられ、該中心コア部よりも低い屈折率を有する第1クラッド部と、該第1クラッド部の外周に設けられ、該第1クラッド部よりも高い屈折率を有する第2クラッド部と、そして、該第2クラッド部の外周に設けられ、該第2クラッド部よりも低い屈折率を有する第3クラッド部とを備える。

【0029】

なお、上記中心コア部は、上記第3クラッド部の屈折率を基準として2.0%～4.0%の比屈折率差を有し、上記第1クラッド部は、上記第3クラッド部の屈折率を基準として-0.9%～-0.2%の比屈折率差を有するのが好ましい。また、上記第2クラッド部は、上記第3クラッド部の屈折率を基準として0.2%～0.9%の比屈折率差を有し、上記中心コア部の外径をa、上記第1クラッド部の外径をb、上記第2クラッド部の外径をcとすると、当該光ファイバは、

【0030】

$$0.19 \leq a/c < 0.4 \quad \text{かつ}$$

【0031】

$$0.4 \leq b/c \leq 0.8$$

【0032】

なる条件を満たすのが好ましい。

【0033】

また、この発明に係る光ファイバにおいて、上記第2クラッド部の外径が±2%変化したとき、波長1550nmにおける波長分散の変化は±12%以下、さらには±6%以下であるのが好ましい。

【0034】

上述のような構造を備えた光ファイバ（この発明に係る光ファイバ）が適用されることにより、波長1.55μmにおいて-390～0ps/nmの累積波長分散を有するとともに110mm以下×110mm以下×18mm以下の外寸（縦D×横W×高さH）を有する分散補償器が得られる一方、外径が145μm以

下の被覆層を有する上記光ファイバが適用される場合、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-640\sim 0\ \text{ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに 110mm 以下 \times 110mm 以下 \times 18mm 以下の外寸（縦 D \times 横 W \times 高さ H ）を有する分散補償器が得られる。さらには、上述のような構造を有する光ファイバ（この発明に係る光ファイバ）が適用されることにより、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-270\sim 0\ \text{ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに 110mm 以下 \times 110mm 以下 \times 14mm 以下の外寸（縦 D \times 横 W \times 高さ H ）を有する分散補償器を得ることも可能である一方、外径が $145\ \mu\text{m}$ 以下の被覆層を有する分散補償光ファイバが適用される場合、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-440\sim 0\ \text{ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに 110mm 以下 \times 110mm 以下 \times 14mm 以下の外寸（縦 D \times 横 W \times 高さ H ）を有する分散補償器が得られ、さらにコンパクト化が可能になる。なお、当該分散補償器の筐体は、高さ 5mm 程度の薄いシート状の形状を有してもよい。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、この発明に係る分散補償器、光伝送システム、光ファイバの各実施形態を、図1～図22を用いて詳細に説明する。なお、図の説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。また、この明細書では、光学部品の代表的な例として分散補償光ファイバが適用された実施形態について説明する。

【0036】

まず、図1は、この発明に係る分散補償器における第1実施形態の構成を示す断面図であり、図2は、その平面図（蓋部を取り外した状態）である。

【0037】

第1実施形態に係る分散補償器Mは、筐体1と、筐体1内に收容される光ファイバコイル11とを有する。筐体1は、筐体1を密閉するための蓋部3と、正方形の外側收容部5と、ドーナツ形状の内側收容部7とを含む。内側收容部7は、内側壁部分7aと外側壁部分7bと底面部分7cとを有している。内側壁部分7aと外側壁部分7bとは円周形状を呈している。

【0038】

光ファイバコイル11は、分散補償光ファイバ（DCF）がコイル状に巻き回されることにより構成され、その巻き歪みが実質的に解放された束状態とされているコイル形状部11aを有する。光ファイバコイル11を構成する分散補償光ファイバの両端は、それぞれピグテールファイバ13の一端に融着接続部15で接続されている。ピグテールファイバ13は、外側壁部分7bに形成された切り欠きを介して内側収容部7外に導き出されている。さらに、ピグテールファイバ13は、外側収容部5に形成された切り欠きを介して筐体1内から外に導き出されており、他端に光コネクタ130が接続されている。外側壁部分7bに形成された切り欠きの大きさは、内側収容部7から樹脂21が漏れ出ない程度の大きさに設定されることが好ましい。

【0039】

ここで、巻き歪みが実質的に解消された状態とは、使用波長帯で巻き歪みによる損失増加が実質的に解放された状態を示し、具体的には、巻き取りに伴う1.62 μ m波長帯における伝送損失増加を0.1 dB/km以上低減させた状態を意味する。この分散補償光ファイバは、中心胴体としてのボビンに巻回された後に、ボビンから外されてコイル状（光ファイバコイル11）にされている。ボビンから取り外して巻きほぐした状態の分散補償光ファイバの伝送損失増加は、特開平10-123342号公報に開示されているようにほとんど解消され、巻き歪みが解消されれば、それに伴う伝送損失も解消されるからである。

【0040】

筐体1の内側収容部7内には、光ファイバコイル11のコイル形状部11aを取り囲むように樹脂21が充填されており、この樹脂21により光ファイバコイル11のコイル形状部11aが保持されている。樹脂21は、光ファイバコイル11のコイル形状部11aを構成する分散補償光ファイバの間にも入り込んでいることが好ましい。

【0041】

樹脂21としては、熱硬化性、湿度硬化性あるいは紫外線硬化性等の化学反応により硬化するシリコン樹脂、あるいは、ブタジエン、シリコンなどのゴム

をシリコーン、ナフテンなどの溶剤で膨潤させ、必要に応じて他の樹脂等を添加した高粘性ジェリー状混和物などが使用可能である。

【0042】

光ファイバコイル 11 は、内側収容部 7 の側壁部分 7 a、7 b に接触しない位置となるように、硬化された樹脂 21 内で固定されているのが好ましい。このように、光ファイバコイル 11 が、内側収容部 7 の側壁部分 7 a、7 b に接触しない状態で、硬化された樹脂 21 内で固定されることにより、光ファイバコイル 11 を構成する分散補償光ファイバと側壁部分 7 a、7 b との接触を確実に抑制することができる。

【0043】

硬化後の樹脂 21 は、1/4 ちょう度（1/4 コーンを使用）が測定温度 -20℃～70℃の全範囲において 5～200 の範囲内にある物質であるのが好ましい。このように、樹脂 21 に上述の物性値を持たせることで、より一層光ファイバへの外力の負荷を防止することができる。このとき、樹脂 21 の 1/4 ちょう度が 5 未満であると、光ファイバ（光ファイバコイル 11）のマイクロベンドによる長波長側損失が大きくなりすぎ、実用に向かない。また、1/4 ちょう度が 200 を超えるようであると、樹脂 21 によって光ファイバコイル 11 を保持できないので、使用しているうちにコイル状態が巻き崩れるなどして伝送特性を安定化させることができない。なお、この明細書において、「1/4 ちょう度」とは、JIS K 2220-1993 により定義される。また、「1/4 コーン」とは、JIS K 2220-1993 により定義される。

【0044】

また、筐体 1 の形状は、上述の形状に限られるものではない。例えば、図 3 及び図 4 に示されたように、筐体 1 として、ドーナツ型の収容部が適用されてもよい（第 2 実施形態）。この場合、筐体 1 は収容部 9 を有し、この収容部 9 は、内側壁部分 9 a と外側壁部分 9 b と底面部分 9 c とを含み、内側壁部分 9 a と外側壁部分 9 b とが円周形状を呈することになる。ピグテールファイバ 13 は、外側壁部分 9 b に形成された切り欠きに固定されたゴムチューブ 23 に挿通されて、筐体 1 外に導き出されている。ゴムチューブ 23 は、収容部 9 からの樹脂 21 の

漏出を防ぐ機能を有している。なお、図3は、この発明に係る分散補償器における第2実施形態の構成を示す断面図であり、図4は、その平面図（蓋部を取り外した状態）である。

【0045】

さらに、光ファイバコイル11も必ずしもボビンから取り外す必要はなく、図5及び図6に示されたように、分散補償光ファイバをボビン17に巻回した状態で筐体1に收容する構成であってもよい（第3実施形態）。この場合、筐体1の形状は、正形状のものでもよく、また、円形状のものでもよい。また、ボビン17の一部を筐体1となるように構成してもよい。

【0046】

また、光ファイバコイル11の形状を保持する手法としては、上述の樹脂21を用いる他に、スポンジ等の弾性変形可能なクッション材を用いるようにしてもよい。

【0047】

次に、この発明に係る分散補償器に適用可能な分散補償光ファイバについて説明する。ここでは、図7に示されるように、4タイプの分散補償光ファイバNo. 1～4を用いる。

【0048】

なお、タイプNo. 1は、図8に示されたような2重クラッド構造の屈折率プロファイルを有する光ファイバ100であり、タイプNo. 2、タイプNo. 3及びタイプNo. 4は、図9に示されたような3重クラッド構造の屈折率プロファイル（三重クラッド型の屈折率プロファイル）を有する光ファイバ200である。

【0049】

図8（a）は、タイプNo. 1の光ファイバ100の断面構造を示す図であり、図8（b）は、その屈折率プロファイルである。特に、図8（a）は、光ファイバ100を光軸と直交する断面を示し、図8（b）は、図8（a）中の線L1に沿った各ガラス領域の屈折率を示す屈折率プロファイル150である。光ファイバ100は、光軸に沿って伸びた外径2aの中心コア部111と、該中心コア

部 1 1 1 を取り囲むよう設けられた外径 2 b の第 1 クラッド部 1 1 2 と、該第 1 クラッド部 1 1 2 を取り囲むよう設けられた第 2 クラッド部 1 1 3 と、該第 2 クラッド部 1 1 3 を取り囲む用に設けられた外径 2 d の被覆層 1 2 0 とを備える。

【0050】

中心コア部 1 1 1 ～第 2 クラッド部 1 1 3 は、シリカガラス (SiO_2) を主成分とし、少なくとも中心コア部 1 1 1 及び第 1 クラッド部 1 1 2 には、屈折率調整用の不純物が添加されている。例えば屈折率プロファイル 1 5 0 は、 GeO_2 が添加されたシリカガラスで中心コア部 1 1 1 が構成され、F が添加されたシリカガラスで第 1 クラッド部 1 1 2 が構成され、純シリカで第 2 クラッド部 1 1 3 が構成されることで得られる。そして、中心コア部 1 1 1 の最大屈折率 n_1 は、第 2 クラッド部 1 1 3 の屈折率 n_3 より高くなっており、第 1 クラッド部 1 1 2 の屈折率 n_2 は、第 2 クラッド部 1 1 3 の屈折率 n_3 より低く設定されている。なお、屈折率プロファイル 1 5 0 における中心コア部 1 1 1 に相当する部位の形状は、実質的にドーム形状であり、光軸中心から周辺に向かって屈折率が低下している。

【0051】

図 8 (b) に示された屈折率プロファイル 1 5 0 は、図 8 (a) 中の線 L 1 に沿った各部位の屈折率を示しており、領域 1 5 1 は線 L 1 上における中心コア部 1 1 1 の屈折率、領域 1 5 2 は線 L 1 上における第 1 クラッド部 1 1 2 の屈折率、領域 1 5 3 は線 L 1 上における第 2 クラッド部 1 1 3 の屈折率を示している。また、第 2 クラッド部 1 1 3 (屈折率 n_3 を有する) を基準とした中心コア部 1 1 1 (屈折率 n_1 を有する) の比屈折率差 $\Delta 1$ は $(n_1 - n_3) / n_3$ で与えられ、第 2 クラッド部 1 1 3 (屈折率 n_3 を有する) を基準とした第 1 クラッド部 1 1 2 (屈折率 n_2 を有する) の比屈折率差 $\Delta 2$ は $(n_2 - n_3) / n_3$ で与えられる。

【0052】

また、図 9 (a) は、タイプ No. 2、No. 3 及びタイプ No. 4 の光ファイバ 2 0 0 の断面構造を示す図であり、図 9 (b) は、その屈折率プロファイルである。特に、図 9 (a) は、光ファイバ 2 0 0 を光軸と直交する断面を示し、

図9 (b) は、図9 (a) 中の線L 2に沿った各ガラス領域の屈折率を示す屈折率プロファイル250である。光ファイバ200は、光軸に沿って伸びた外径2aの中心コア部211と、該中心コア部211を取り囲むよう設けられた外径2bの第1クラッド部212と、該第1クラッド部212を取り囲むよう設けられた外径2cの第2クラッド部213と、該第2クラッド部213を取り囲む用に設けられた第3クラッド部214と、該第3クラッド部214を取り囲むように設けられた外径2dの被覆層220とを備える。

【0053】

中心コア部211～第3クラッド部214は、シリカガラス (SiO_2) を主成分とし、少なくとも中心コア部211及び第2クラッド部212には、屈折率調整用の不純物が添加されている。例えば屈折率プロファイル250は、 GeO_2 が添加されたシリカガラスで中心コア部211が構成され、Fが添加されたシリカガラスで第1クラッド部212が構成され、 GeO_2 が添加されたシリカガラスで第2クラッド部213が構成され、純シリカで第3クラッド部214が構成されることで得られる。さらに、中心コア部211の最大屈折率 n_1 は、第3クラッド部214の屈折率 n_4 より高くなっており、第1クラッド部212の屈折率 n_2 は、第3クラッド部214の屈折率 n_4 より低く設定されている。また、第2クラッド部213の屈折率 n_3 は中心コア部211の屈折率 n_1 より低くかつ第3クラッド部214の屈折率 n_4 より低く設定されている。なお、屈折率プロファイル250における中心コア部211に相当する部位の形状は、実質的にドーム形状であり、光軸中心から周辺に向かって屈折率が低下している。

【0054】

図9 (b) に示された屈折率プロファイル250は、図9 (a) 中の線L 2に沿った各部位の屈折率を示しており、領域251は線L 2上における中心コア部211の屈折率、領域252は線L 2上における第1クラッド部212の屈折率、領域253は線L 2上における第2クラッド部213の屈折率、領域254は線L 2上における第3クラッド部214の屈折率を示している。また、第3クラッド部213 (屈折率 n_4 を有する) を基準とした中心コア部211 (屈折率 n_1 を有する) の比屈折率差 $\Delta 1$ は $(n_1 - n_4) / n_4$ で与えられ、第3クラッ

ド部 214 (屈折率 n_4 を有する) を基準とした第 1 クラッド部 212 (屈折率 n_2 を有する) の比屈折率差 $\Delta 2$ は $(n_2 - n_4) / n_4$ で与えられ、第 3 クラッド部 214 (屈折率 n_4 を有する) を基準とした第 2 クラッド部 213 (屈折率 n_3 を有する) の比屈折率差 $\Delta 3$ は $(n_3 - n_4) / n_4$ で与えられる。

【0055】

タイプ No. 1 の光ファイバは、図 8 に示されたような 2 重クラッド構造の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバであって、中心コア部 111 の外径 $2a$ が $2.5 \mu\text{m}$ 、第 1 クラッド部 112 の外径 $2b$ が $6.2 \mu\text{m}$ である。また、第 2 クラッド部 113 の屈折率 n_3 を基準とした中心コア部 111 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 3.0% 、第 1 クラッド部 112 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.35% である。

【0056】

このタイプ No. 1 の分散補償光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における諸特性として、 -147 ps/nm/km の波長分散と、 $-0.120 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $4.3 \mu\text{m}$ のモードフィールド径 (MFD) と、直径 40 mm で曲げられた状態において 8.69 dB/km の曲げ損失と、直径 60 mm で曲げられた状態において 0.02 dB/km の曲げ損失とを有する。なお、このタイプ No. 1 において、実効カットオフ波長 (長さ 2 m の光ファイバを半径 140 mm でゆるく 1 回巻きつけた状態での LP_{11} モードのカットオフ波長) は $0.71 \mu\text{m}$ である。

【0057】

次に、タイプ No. 2 の光ファイバは、図 9 に示されたような 3 重クラッド構造の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバであって、中心コア部 211 の外径 $2a$ が $3.4 \mu\text{m}$ 、第 1 クラッド部 212 の外径 $2b$ が $7.4 \mu\text{m}$ 、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ が $15.4 \mu\text{m}$ である。また、第 3 クラッド部 214 の屈折率 n_4 を基準とした中心コア部 211 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 2.4% 、第 1 クラッド部 212 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.72% 、第 2 クラッド部 213 の比屈折率差 $\Delta 3$ は 0.30% である。

【0058】

このタイプNo. 2の分散補償光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における諸特性として、 $-242\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $-0.655\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $4.5\mu\text{m}$ のモードフィールド径(MFD)と、直径 40mm で曲げた状態において $0.06\text{dB}/\text{km}$ の曲げ損失と、直径 60mm で曲げた状態において $0.001\text{dB}/\text{km}$ 未満の曲げ損失を有する。なお、このタイプNo. 2において、実効カットオフ波長は $1.65\mu\text{m}$ である。

【0059】

タイプNo. 3の光ファイバも、図9に示されやような3重クラッド構造の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバであって、中心コア部211の外径 $2a$ が $2.8\mu\text{m}$ 、第1クラッド部212の外径 $2b$ が $7.0\mu\text{m}$ 、第2クラッド部213の外径 $2c$ が $14.0\mu\text{m}$ である。また、第3クラッド部214の屈折率 n_4 を基準とした中心コア部211の比屈折率差 Δ_1 は 3.0% 、第1クラッド部212の比屈折率差 Δ_2 は -0.72% 、第2クラッド部213の比屈折率差 Δ_3 は 0.30% である。

【0060】

このタイプNo. 3の分散補償光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における諸特性として、 $-320\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $-0.595\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $4.2\mu\text{m}$ のモードフィールド径(MFD)と、直径 40mm で曲げられた状態において $0.44\text{dB}/\text{km}$ の曲げ損失と、直径 60mm で曲げられた状態において $0.001\text{dB}/\text{km}$ 未満の曲げ損失を有する。なお、このタイプNo. 3において、実効カットオフ波長は $1.47\mu\text{m}$ である。

【0061】

さらに、タイプNo. 4の光ファイバも、図9に示されやような3重クラッド構造の屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバであって、中心コア部211の外径 $2a$ が $2.72\mu\text{m}$ 、第1クラッド部212の外径 $2b$ が $7.3\mu\text{m}$ 、第2クラッド部213の外径 $2c$ が $14.3\mu\text{m}$ である。また、第3クラッド部214の屈折率 n_4 を基準とした中心コア部211の比屈折率差 Δ_1 は 2.7% 、第1クラッド部212の比屈折率差 Δ_2 は -0.76% 、第2クラッド部2

13の比屈折率差 Δn は0.31%である。

【0062】

このタイプNo. 4の分散補償光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における諸特性として、 $-329\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $-0.582\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $4.2\mu\text{m}$ のモードフィールド径(MFD)と、直径 40mm で曲げられた状態において $0.11\text{dB}/\text{km}$ の曲げ損失と、直径 60mm で曲げられた状態において $0.001\text{dB}/\text{km}$ 未満の曲げ損失を有する。なお、このタイプNo. 4において、実効カットオフ波長は $1.58\mu\text{m}$ である。

【0063】

続いて、上述のタイプNo. 1～No. 4のいずれかの分散補償光ファイバが適用された分散補償器Mの複数サンプルを用意し、それらサンプルの特性及び外寸等について説明する。なお、図10は、この発明に係る分散補償器の一例として用意されたサンプル1～19の特性及び外寸等を説明するための表である。

【0064】

(サンプル1)

サンプル1の分散補償器Mには、長さ 2.05km を有するタイプNo. 1の分散補償光ファイバが適用されている。このタイプNo. 1はボビンに巻き付けた後に当該ボビンから取り外され、このタイプNo. 1で構成された光ファイバコイル11が筐体1内に收容される。光ファイバコイル11は樹脂21でモールドされている。また、タイプNo. 1の分散補償光ファイバにおける第2クラッド部113の外径(ガラス径)は $80\mu\text{m}$ であり、被覆層120も含んだ外径(被覆径)は $120\mu\text{m}$ である。樹脂21はシリコーンゲルであり、このシリコーンゲルを 70°C で2時間加熱することにより硬化させて、光ファイバコイル11が保持される。

【0065】

ボビンの分散補償光ファイバを巻き付ける巻胴部の外径(巻胴径:コイル状に巻回された分散補償光ファイバの巻内径に相当する)は 58mm であり、ボビンにタイプNo. 1が巻回された状態における光ファイバコイル11の最外径(巻

外径)は82mmであり、同じくボビンに巻回した状態における光ファイバコイル11の巻幅(巻幅)は12mmである。用意された筐体1の外寸は102mm(縦D)×102mm(横W)×17mm(高さH)であり、その体積は177cm³である。分散補償器Mの総分散値(累積波長分散に相当)は-300ps/nmであり、総分散スロープは-0.25ps/nm²であり、挿入損失は3.5dBである。

【0066】

(サンプル2)

サンプル2の分散補償器Mには、長さ4.09kmを有するタイプNo.1の分散補償光ファイバが適用されている。上記サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル2において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は80μmであり、被覆径は120μmである。巻胴径は58mmであり、巻外径は101mmであり、巻幅は12mmである。用意された筐体1の外寸は121mm(縦D)×121mm(横W)×17mm(高さH)であり、その体積は249cm³である。分散補償器Mの累積波長分散は-600ps/nmであり、総分散スロープは-0.49ps/nm²であり、挿入損失は5.2dBである。

【0067】

(サンプル3)

サンプル3の分散補償器Mには、長さ2.05kmを有するタイプNo.1の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル3において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は90μmであり、被覆径は145μmである。巻胴径は58mmであり、巻外径は91mmであり、巻幅は12mmである。容易された筐体1の外寸は111mm(縦D)×111mm(横W)×17mm(高さH)であり、その体積は209cm³である。分散補償器Mの累積波長は-300ps/nmであり、総分散スロープは-0.25ps/nm²であり、挿入損失は3.5dB

である。

【 0 0 6 8 】

(サンプル 4)

サンプル 4 の分散補償器 M には、長さ 4. 0 9 k m を有するタイプ N o. 1 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 1 1 は筐体 1 内に収容され、樹脂 2 1 を硬化させることにより該光ファイバコイル 1 1 が保持されている。このサンプル 4 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $90\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $145\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は 5 8 mm であり、巻外径は 1 1 5 mm であり、巻幅は 1 2 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 1 3 5 mm (縦 D) \times 1 3 5 mm (横 W) \times 1 7 mm (高さ H) であり、その体積は $310\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-600\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.49\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は 5. 2 d B である。

【 0 0 6 9 】

(サンプル 5)

サンプル 5 の分散補償器 M には、長さ 0. 3 3 k m を有するタイプ N o. 2 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 1 1 は筐体 1 内に収容され、樹脂 2 1 を硬化させることにより該光ファイバコイル 1 1 が保持されている。このサンプル 5 において、タイプ N o. 2 の分散補償光ファイバにおける第 3 クラッド部 2 1 4 の外径 (ガラス径) は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は 4 0 mm であり、巻外径は 5 4 mm であり、巻幅は 1 2 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 7 4 mm (縦 D) \times 7 4 mm (横 W) \times 1 7 mm (高さ H) であり、その体積は $93\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-80\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.22\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は 2. 2 d B である。

【 0 0 7 0 】

(サンプル 6)

サンプル 6 m の分散補償器 M には、長さ 0. 7 4 k m を有するタイプ N o. 2 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイ

ル 11 は筐体 1 内に收容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 6 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は $40\ \text{mm}$ であり、巻外径は $68\ \text{mm}$ であり、巻幅は $12\ \text{mm}$ である。用意された筐体 1 の外寸は $88\ \text{mm}$ (縦 D) \times $88\ \text{mm}$ (横 W) \times $17\ \text{mm}$ (高さ H) であり、その体積は $132\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-180\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.49\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は $2.5\ \text{dB}$ である。

【0071】

(サンプル 7)

サンプル 7 の分散補償器 M には、長さ $1.24\ \text{km}$ を有するタイプ No. 2 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に收容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 7 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は $40\ \text{mm}$ であり、巻外径は $81\ \text{mm}$ であり、巻幅は $12\ \text{mm}$ である。用意された筐体 1 の外寸は $101\ \text{mm}$ (縦 D) \times $101\ \text{mm}$ (横 W) \times $17\ \text{mm}$ (高さ H) であり、その体積は $173\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-300\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.81\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は $2.9\ \text{dB}$ である。

【0072】

(サンプル 8)

サンプル 8 の分散補償器 M には、長さ $2.48\ \text{km}$ を有するタイプ No. 2 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に收容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 8 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は $50\ \text{mm}$ であり、巻外径は $111\ \text{mm}$ であり、巻幅は $12\ \text{mm}$ である。用意された筐体 1 の外寸は $131\ \text{mm}$ (縦 D) \times $131\ \text{mm}$ (横 W) \times $17\ \text{mm}$ (高さ H) であり

、その体積は 292 cm^3 である。分散補償器Mの累積波長分散は -600 ps/nm であり、総分散スロープは -1.63 ps/nm^2 であり、挿入損失は 3.9 dB である。

【0073】

(サンプル9)

サンプル9の分散補償器Mには、長さ 4.97 km を有するタイプNo. 2の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル9において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125 \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185 \mu\text{m}$ である。巻胴径は 50 mm であり、巻外径は 150 mm であり、巻幅は 12 mm である。用意された筐体1の外寸は 170 mm (縦D) \times 170 mm (横W) \times 17 mm (高さH) であり、その体積は 491 cm^3 である。分散補償器Mの累積波長分散は -1200 ps/nm であり、総分散スロープは -3.25 ps/nm^2 であり、挿入損失は 5.9 dB である。

【0074】

(サンプル10)

サンプル10の分散補償器Mには、長さ 0.25 km を有するタイプNo. 3の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル10において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125 \mu\text{m}$ であり、被覆径は $18.5 \mu\text{m}$ である。巻胴径は 40 mm であり、巻外径は 51 mm であり、巻幅は 12 mm である。用意された筐体1の外寸は 71 mm (縦D) \times 71 mm (横W) \times 17 mm (高さH) であり、その体積は 86 cm^3 である。分散補償器Mの累積波長分散は -80 ps/nm であり、総分散スロープは -0.15 ps/nm^2 であり、挿入損失は 2.1 dB である。

【0075】

(サンプル11)

サンプル 1 1 の分散補償器 M には、長さ 0. 5 6 k m を有するタイプ N o. 3 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 1 1 は筐体 1 内に收容され、樹脂 2 1 を硬化させることにより該光ファイバコイル 1 1 が保持されている。このサンプル 1 1 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\text{ }\mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\text{ }\mu\text{m}$ である。巻胴径は 4 0 mm であり、巻外径は 6 2 mm であり、巻幅は 1 2 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 8 2 mm (縦 D) \times 8 2 mm (横 W) \times 1 7 mm (高さ H) であり、その体積は 114 cm^3 である。分散補償器 M の累積波長分散は -180 ps/nm であり、総分散スロープは -0.34 ps/nm^2 であり、挿入損失は 2. 4 d B である。

【0 0 7 6】

(サンプル 1 2)

サンプル 1 2 の分散補償器 M には、長さ 0. 9 4 k m を有するタイプ N o. 3 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 1 1 は筐体 1 内に收容され、樹脂 2 1 を硬化させることにより該光ファイバコイル 1 1 が保持されている。このサンプル 1 2 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\text{ }\mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\text{ }\mu\text{m}$ である。巻胴径は 4 0 mm であり、巻外径は 7 3 mm であり、巻幅は 1 2 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 9 3 mm (縦 D) \times 9 3 mm (横 W) \times 1 7 mm (高さ H) であり、その体積は 147 cm^3 である。分散補償器 M の累積波長分散は -300 ps/nm であり、総分散スロープは -0.56 ps/nm^2 であり、挿入損失は 2. 7 d B である。

【0 0 7 7】

(サンプル 1 3)

サンプル 1 3 の分散補償器 M には、長さ 1. 8 8 k m を有するタイプ N o. 3 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 1 1 は筐体 1 内に收容され、樹脂 2 1 を硬化させることにより該光ファイバコイル 1 1 が保持されている。このサンプル 1 3 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\text{ }\mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\text{ }\mu\text{m}$ である。巻胴径は 5 0

mmであり、巻外径は100mmであり、巻幅は12mmである。用意された筐体1の外寸は120mm（縦D）×120mm（横W）×17mm（高さH）であり、その体積は245cm³である。分散補償器Mの累積波長分散は-600ps/nmであり、総分散スロープは-1.12ps/nm²であり、挿入損失は3.4dBである。

【0078】

（サンプル14）

サンプル14の分散補償器Mには、長さ3.76kmを有するタイプNo.3の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル14において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は125μmであり、被覆径は185μmである。巻胴径は50mmであり、巻外径は132mmであり、巻幅は12mmである。用意された筐体1の外寸は152mm（縦D）×152mm（横W）×17mm（高さH）であり、その体積は393cm³である。分散補償器Mの累積波長分散は-1200ps/nmであり、総分散スロープは-2.23ps/nm²であり、挿入損失は4.9dBである。

【0079】

（サンプル15）

サンプル15の分散補償器Mには、長さ3.76kmを有するタイプNo.3の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル1と同様に、光ファイバコイル11は筐体1内に收容され、樹脂21を硬化させることにより該光ファイバコイル11が保持されている。このサンプル15において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は90μmであり、被覆径は145μmである。巻胴径は40mmであり、巻外径は104mmであり、巻幅は12mmである。用意された筐体1の外寸は124mm（縦D）×124mm（横W）×17mm（高さH）であり、その体積は261cm³である。分散補償器Mの累積波長分散は-1200ps/nmであり、総分散スロープは-2.23ps/nm²であり、挿入損失は4.9dBである。

【0080】

(サンプル 16)

サンプル 16 の分散補償器 M には、長さ 3.76 km を有するタイプ No. 3 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に収容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 16 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $90\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $145\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は 40 mm であり、巻外径は 153 mm であり、巻幅は 5 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 173 mm (縦 D) \times 173 mm (横 W) \times 10 mm (高さ H) であり、その体積は $299\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-1200\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-2.23\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は 4.9 dB である。

【0081】

(サンプル 17)

サンプル 17 の分散補償器 M には、長さ 0.25 km を有するタイプ No. 3 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に収容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 17 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は 40 mm であり、巻外径は 56 mm であり、巻幅は 5 mm である。用意された筐体 1 の外寸は 76 mm (縦 D) \times 76 mm (横 W) \times 10 mm (高さ H) であり、その体積は $58\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-80\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.15\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は 2.1 dB である。

【0082】

(サンプル 18)

サンプル 18 の分散補償器 M には、長さ 0.3 km を有するタイプ No. 4 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に収容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイ

ル 11 が保持されている。このサンプル 18 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は $58\ \text{mm}$ であり、巻外径は $80\ \text{mm}$ であり、巻幅は $5\ \text{mm}$ である。用意された筐体 1 の外寸は $100\ \text{mm}$ (縦 D) \times $105\ \text{mm}$ (横 W) \times $10\ \text{mm}$ (高さ H) であり、その体積は $105\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-100\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.177\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は $0.53\ \text{dB}$ である。

【0083】

(サンプル 19)

サンプル 19 の分散補償器 M には、長さ $0.91\ \text{km}$ を有するタイプ No. 4 の分散補償光ファイバが適用されている。サンプル 1 と同様に、光ファイバコイル 11 は筐体 1 内に收容され、樹脂 21 を硬化させることにより該光ファイバコイル 11 が保持されている。このサンプル 19 において、分散補償光ファイバにおけるガラス径は $125\ \mu\text{m}$ であり、被覆径は $185\ \mu\text{m}$ である。巻胴径は $58\ \text{mm}$ であり、巻外径は $85\ \text{mm}$ であり、巻幅は $12\ \text{mm}$ である。用意された筐体 1 の外寸は $100\ \text{mm}$ (縦 D) \times $105\ \text{mm}$ (横 W) \times $20\ \text{mm}$ (高さ H) であり、その体積は $210\ \text{cm}^3$ である。分散補償器 M の累積波長分散は $-300\ \text{ps}/\text{nm}$ であり、総分散スロープは $-0.531\ \text{ps}/\text{nm}^2$ であり、挿入損失は $1.2\ \text{dB}$ である。

【0084】

以上のように、サンプル 1 ~ 19 の分散補償器 M によれば、 $-140\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有する、比較的単位長さ当たりの波長分散の絶対値が大きい分散補償光ファイバが適用されるので、極めてコンパクトな分散補償器 M が実現される。

【0085】

なお、上述のように波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-140\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有する分散補償光ファイバが適用されたサンプル 1 ~ 19 から分かるように、分散補償器 M によって波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における分散特性として $-1200\ \text{ps}/\text{nm}$ 以上かつ $-600\ \text{ps}/\text{nm}$ 未満の累積波長分散が実現される

場合、当該分散補償器Mは、 500 cm^3 以下の体積を有する筐体とで構成されるとき、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失が 5.9 dB 以下であるのが好ましい。

【0086】

分散補償器Mによって波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散特性として -600 ps/nm 以上かつ 0 ps/nm 未満の累積波長分散が実現される場合、当該分散補償器Mは、 310 cm^3 以下の体積を有する筐体とで構成されるとき、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失が 3.9 dB 以下であるのが好ましい。

【0087】

また、分散補償器Mによって波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散特性として -300 ps/nm 以上かつ 0 ps/nm 未満の累積波長分散が実現される場合、当該分散補償器Mは、 260 cm^3 以下の体積を有する筐体とで構成されるとき、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失が 3.5 dB 以下、さらには 2.9 dB 以下であるのが好ましい。

【0088】

また、分散補償器Mによって波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散特性として -180 ps/nm 以上かつ 0 ps/nm 未満の累積波長分散が実現される場合、当該分散補償器Mは、 200 cm^3 以下の体積を有する筐体とで構成されるとき、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失が 2.5 dB 以下、さらには 2.4 dB 以下であるのが好ましい。

【0089】

さらに、分散補償器Mによって波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散特性として -80 ps/nm 以上かつ 0 ps/nm 未満の累積波長分散が実現される場合、当該分散補償器Mは、 140 cm^3 以下の体積を有する筐体とで構成されるとき、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失が 2.2 dB 以下であるのが好ましい。

【0090】

図11は、上述のサンプル1～19について、筐体体積 $V\text{ (cm}^3\text{)}$ と累積波長分散 $AD\text{ (ps/nm)}$ との関係、及び波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における挿入損失 $IL\text{ (dB)}$ と累積波長分散 $AD\text{ (ps/nm)}$ との関係をプロットしたグラフで

ある。

【0091】

図11(a)中、直線L11Aはサンプル1～19のプロットされた関係によって与えられる上限を示しており、この直線L11Aは、以下の式で表される。

【0092】

$$V = -0.31 \times AD + 120$$

【0093】

したがって、上記筐体の体積Vと上記分散補償光ファイバの累積波長分散ADは、以下の式を満たしている。

【0094】

$$V \leq -0.31 \times AD + 120$$

【0095】

同様に、図11(b)中、直線L11Bもサンプル1～19のプロットされた関係によって与えられる上限を示しており、この直線L11Bは以下の式で表される。

【0096】

$$IL = -0.0033 \times AD + 1.9$$

【0097】

したがって、上記挿入損失ILと上記分散補償光ファイバの累積波長分散ADは、以下の式を満たしている。

【0098】

$$IL \leq -0.0033 \times AD + 1.9$$

【0099】

次に、この発明に係る光伝送システムの各実施形態を図12～図14を用いて説明する。なお、図12は、この発明に係る光伝送システムにおける第1実施形態の構成、図13は、この発明に係る光伝送システムにおける第2実施形態の構成、図14は、この発明に係る光伝送システムにおける第3実施形態の構成を、それぞれ示す。

【0100】

第1実施形態に係る光伝送システム51は、図12(a)に示されたように、多重化された信号光を送信する送信器53と、該信号光が伝播する伝送用光ファイバ55と、上述のような構造を有する分散補償器M(この発明に係る分散補償器)と、信号光を受信する受信器57とを備える。なお、図12(a)の構成では、分散補償器Mは伝送用光ファイバ55よりも送信器53側に接続されている。伝送用光ファイバ55の長さは、50km以下、また、信号波長帯域は、1.55 μ m帯である。

【0101】

このような構成により、光伝送システム51においては、伝送用光ファイバ55の波長分散が分散補償器Mにより相殺、補償されて、送信器53と受信器57との間の光伝送路全体における波長分散の絶対値が小さくなり、信号光の波形劣化が効果的に抑制される。

【0102】

なお、この第1実施形態に係る光伝送システム51は、分散補償器Mが、図12(b)に示されたように、伝送用光ファイバ55よりも受信器57側に接続された構成であってもよい。また、エルビウム添加光ファイバ(Erbium Doped optical-Fiber)等が適用された光アンプに接続された構成であってもよい。

【0103】

上記分散補償器Mは、それぞれが上述のような構造(図1～図6)を有する複数の分散補償モジュールで構成されてもよい。第2実施形態に係る光伝送システム51では、図13(a)に示されたように、分散補償器Mが複数の分散補償モジュールM1～M3を直列に接続して、波長分散値を調節するよう構成されてもよい。このように、複数の分散補償モジュールM1～M3が直列に接続された場合、それぞれの分散補償モジュールM1～M3における波長分散値は、同じでもよく、また、異なってもよい。もちろん、複数の分散補償モジュールM1～M3を伝送用光ファイバ55よりも受信器57側に配置してもよい。

【0104】

一方、この第2実施形態に係る光伝送システム51では、図13(b)に示されたように、多重化された信号光を各信号チャネルに分離する光分波器55aと

、各信号チャネルの光を合波する光合波器 55b を、信号光の伝搬経路上に配置するとともに、各信号チャネルに対応した複数の分散補償モジュール M1 ~ Mn をこれら光分波器 55a と光合波器 55b との間に配置して、当該分散補償器 M が構成されている。このように、各信号チャネルに対応した分散補償モジュール M1 ~ Mn が並列に配置されることにより、各分散補償モジュールは、対応する信号チャネルを個別に補償すればよいので、各分散補償モジュール M1 ~ Mn は、大きな分散スロープを有する必要がなくなる。

【0105】

また、第3実施形態に係る光伝送システム 61 は、図 14 に示されたように、送信器 53 及び受信器 57 をそれぞれ複数含み、複数の送信器 53 から送信された信号光を合波する光合波器 63 と、合波された信号光を複数の信号光に分波して光分波器 65 とをさらに備える。この光伝送システム 61 は、伝送用光ファイバ 55 の前段（送信器 53 側）及び後段（受信器 57 側）に光アンプ 67 が接続されているが、いずれか一方のみに接続するよう構成されてもよく、また、接続しなくてもよい。光伝送システム 61 においても、信号波長帯域は、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯である。

【0106】

なお、この発明に係る分散補償器は、上述の実施形態に限定されるものではない。例えば、筐体 1 の形状は、上述のようなドーナツ形状（円形状も含む）あるいは正形状（四角形状）に限られず、多角形状であってもよい。

【0107】

また、この発明に係る分散補償器は、適用される分散補償光ファイバの改良により更なるコンパクト化も可能である。

【0108】

図 15 は、この発明に係る分散補償器に適用可能な分散補償光ファイバ（この発明に係る光ファイバ）の一例として、当該分散補償器の更なるコンパクト化を目的として用意されたタイプ No. 5 ~ No. 11 の光ファイバの構造及び諸特性を説明するための表である。なお、これらタイプ No. 5 ~ No. 11 の光ファイバは、いずれも図 9 に示された 3 重クラッド型の屈折率プロファイルを有す

る。

【0109】

用意された光ファイバのうち、タイプ No. 5 の光ファイバにおいて、第 3 クラッド部 214 を基準とした中心コア部 211 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 2.4%、第 3 クラッド 214 を基準とした第 1 クラッド部 212 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.6%、第 3 クラッド 214 を基準とした第 2 クラッド部 213 の比屈折率差 $\Delta 3$ は 0.6% であり、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する中心コア部 211 の外径 $2a$ の比 $Ra (= a/c)$ は 0.30、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する第 1 クラッド部 212 の外径 $2b$ の比 $Rb (= b/c)$ は 0.7 である。なお、このタイプ No. 5 における第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ は $11.1 \mu m$ である。波長 $1550 nm$ における諸特性として、タイプ No. 5 は、 $-158 ps/nm/km$ の波長分散と、 $-0.193 ps/nm^2/km$ の分散スロープと、 $16.4 \mu m^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプ No. 5 は、 $1.372 \mu m$ のカットオフ波長を有するとともに、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ が $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は 8.6% である。

【0110】

ただし、上記実効断面積 A_{eff} は、特開平 8-248251 号公報 (EP 0724 171 A2) に示されたように、以下の式で与えられる。

【0111】

【数 1】

$$A_{eff} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right)$$

ここで、 E は伝搬光に伴う電界、 r はコア中心からの径方向の距離である。

【0112】

次に、タイプ No. 6 の光ファイバにおいて、第 3 クラッド部 214 を基準とした中心コア部 211 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 2.4%、第 3 クラッド 214 を基準とした第 1 クラッド部 212 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.7%、第 3 クラッド 214 を基準とした第 2 クラッド部 213 の比屈折率差 $\Delta 3$ は 0.6% であり、第 2

クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する中心コア部 211 の外径 $2a$ の比 $R_a (= a/c)$ は 0.33、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する第 1 クラッド部 212 の外径 $2b$ の比 $R_b (= b/c)$ は 0.7 である。なお、このタイプ No. 6 における第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ は $10.0 \mu\text{m}$ である。波長 1550 nm における諸特性として、タイプ No. 6 は、 -165 ps/nm/km の波長分散と、 $0.117 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $19.4 \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプ No. 6 は、 $1.218 \mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ が $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は 4.2% である。

【0113】

タイプ No. 7 の光ファイバにおいて、第 3 クラッド部 214 を基準とした中心コア部 211 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 2.7% 、第 3 クラッド部 214 を基準とした第 1 クラッド部 212 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.5% 、第 3 クラッド部 214 を基準とした第 2 クラッド部 213 の比屈折率差 $\Delta 3$ は 0.6% であり、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する中心コア部 211 の外径 $2a$ の比 $R_a (= a/c)$ は 0.26、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する第 1 クラッド部 212 の外径 $2b$ の比 $R_b (= b/c)$ は 0.7 である。なお、このタイプ No. 7 における第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ は $11.4 \mu\text{m}$ である。波長 1550 nm における諸特性として、タイプ No. 7 は、 -184 ps/nm/km の波長分散と、 $0.197 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $15.7 \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプ No. 7 は、 $1.438 \mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ が $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は 8.0% である。

【0114】

タイプ No. 8 の光ファイバにおいて、第 3 クラッド部 214 を基準とした中心コア部 211 の比屈折率差 $\Delta 1$ は 2.7% 、第 3 クラッド部 214 を基準とした第 1 クラッド部 212 の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.7% 、第 3 クラッド部 214 を基準とした第 2 クラッド部 213 の比屈折率差 $\Delta 3$ は 0.6% であり、第 2 クラッド部 213 の外径 $2c$ に対する中心コア部 211 の外径 $2a$ の比 $R_a (= a/c)$

)は0.30、第2クラッド部213の外径2cに対する第1クラッド部212の外径2bの比 $R_b (=b/c)$ は0.7である。なお、このタイプNo. 8における第2クラッド部213の外径2cは $10.0\mu\text{m}$ である。波長 1550nm における諸特性として、タイプNo. 8は、 $-206\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $0.091\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $17.9\mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプNo. 8は、 $1.216\mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第2クラッド部213の外径2cが $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は5.2%である。

【0115】

タイプNo. 9の光ファイバにおいて、第3クラッド部214を基準とした中心コア部211の比屈折率差 $\Delta 1$ は3.0%、第3クラッド214を基準とした第1クラッド部212の比屈折率差 $\Delta 2$ は-0.5%、第3クラッド214を基準とした第2クラッド部213の比屈折率差 $\Delta 3$ は0.6%であり、第2クラッド部213の外径2cに対する中心コア部211の外径2aの比 $R_a (=a/c)$ は0.24、第2クラッド部213の外径2cに対する第1クラッド部212の外径2bの比 $R_b (=b/c)$ は0.7である。なお、このタイプNo. 9における第2クラッド部213の外径2cは $11.1\mu\text{m}$ である。波長 1550nm における諸特性として、タイプNo. 9は、 $-230\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の波長分散と、 $0.120\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $17.5\mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプNo. 9は、 $1.400\mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第2クラッド部213の外径2cが $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は4.7%である。

【0116】

タイプNo. 10の光ファイバにおいて、第3クラッド部214を基準とした中心コア部211の比屈折率差 $\Delta 1$ は3.0%、第3クラッド214を基準とした第1クラッド部212の比屈折率差 $\Delta 2$ は-0.7%、第3クラッド214を基準とした第2クラッド部213の比屈折率差 $\Delta 3$ は0.6%であり、第2クラッド部213の外径2cに対する中心コア部211の外径2aの比 $R_a (=a/c)$ は0.26、第2クラッド部213の外径2cに対する第1クラッド部21

2の外径2bの比 $R_b (= b/c)$ は0.7である。なお、このタイプNo. 10における第2クラッド部213の外径2cは $10.7 \mu\text{m}$ である。波長 1550 nm における諸特性として、タイプNo. 10は、 -267 ps/nm/km の波長分散と、 $0.378 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $15.2 \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプNo. 10は、 $1.295 \mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第2クラッド部213の外径2cが $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は10.3%である。

【0117】

タイプNo. 11の光ファイバにおいて、第3クラッド部214を基準とした中心コア部211の比屈折率差 $\Delta 1$ は3.1%、第3クラッド部214を基準とした第1クラッド部212の比屈折率差 $\Delta 2$ は -0.74% 、第3クラッド部214を基準とした第2クラッド部213の比屈折率差 $\Delta 3$ は0.32%であり、第2クラッド部213の外径2cに対する中心コア部211の外径2aの比 $R_a (= a/c)$ は0.19、第2クラッド部213の外径2cに対する第1クラッド部212の外径2bの比 $R_b (= b/c)$ は0.44である。なお、このタイプNo. 11における第2クラッド部213の外径2cは $14.7 \mu\text{m}$ である。波長 1550 nm における諸特性として、タイプNo. 11は、 -321 ps/nm/km の波長分散と、 $-0.132 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープと、 $16.6 \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} を有する。さらに、タイプNo. 11は、 $1.706 \mu\text{m}$ のカットオフ波長を有するとともに、第2クラッド部213の外径2cが $\pm 2\%$ 変動したときの波長分散の最大変化は10.8%である。

【0118】

図16は、上記タイプNo. 5について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を2.4%、 $\Delta 2$ を -0.6% 、 $\Delta 3$ を0.6%に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で2cを変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図16において、グラフG1510は R_a を0.26、 R_b を0.70にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1520は R_a を0.27、 R_b を0.70にそ

それぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1530 は R_a を 0.28、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1540 は R_a を 0.30、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1550 は直径 40 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1560 は直径 60 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1570 はカットオフ波長を 1550 nm に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0119】

この図 16 において、斜線領域 A1 はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプ No. 5 が、この領域 A1 に含まれていることが分かる。

【0120】

図 17 は、上記タイプ No. 6 について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を 2.4%、 $\Delta 2$ を -0.7%、 $\Delta 3$ を 0.6% に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で $2c$ を変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図 17 において、グラフ G1610 は R_a を 0.27、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1620 は R_a を 0.28、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1630 は R_a を 0.30、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1640 は R_a を 0.33、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1650 は直径 40 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1660 は直径 60 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G1670 はカットオフ波長を 1550 nm に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、を

それぞれ示している。

【0121】

この図17において、斜線領域A2はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプNo. 6も、この領域A2に含まれていることが分かる。

【0122】

図18は、上記タイプNo. 7について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を2.7%、 $\Delta 2$ を-0.5%、 $\Delta 3$ を0.6%に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で2cを変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図18において、グラフG1710は R_a を0.22、 R_b を0.70にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1720は R_a を0.24、 R_b を0.70にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1730は R_a を0.26、 R_b を0.70にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1740は R_a を0.29、 R_b を0.70にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1750は直径40mmでの曲げ損失を0.01dB/kmに固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1760は直径60mmでの曲げ損失を0.01dB/kmに固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1770はカットオフ波長を1550nmに固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0123】

この図18において、斜線領域A3はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプNo. 7も、この領域A3に含まれていることが分かる。

【0124】

また、図19は、上記タイプNo. 8について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を2.7%、 $\Delta 2$

を -0.7% 、 $\Delta 3$ を 0.6% に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で $2c$ を変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図19において、グラフG1810は R_a を 0.26 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1820は R_a を 0.28 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1830は R_a を 0.30 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1840は R_a を 0.33 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1850は直径 40 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1860は直径 60 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1870はカットオフ波長を 1550 nm に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0125】

この図19において、斜線領域A4はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプNo. 8の諸特性も、この領域A4に含まれていることが分かる。

【0126】

図20は、上記タイプNo. 9について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を 3.0% 、 $\Delta 2$ を -0.5% 、 $\Delta 3$ を 0.6% に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で $2c$ を変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図20において、グラフG1910は R_a を 0.22 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1920は R_a を 0.24 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1930は R_a を 0.26 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフG1940は R_a を 0.30 、 R_b を 0.70 にそれぞれ固

定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 1 9 5 0 は直径 4 0 m m での曲げ損失を 0. 0 1 d B / k m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 1 9 6 0 は直径 6 0 m m での曲げ損失を 0. 0 1 d B / k m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 1 9 7 0 はカットオフ波長を 1 5 5 0 n m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0127】

この図 2 0 において、斜線領域 A 5 はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプ N o. 9 の諸特性も、この領域 A 5 に含まれていることが分かる。

【0128】

図 2 1 は、上記タイプ N o. 1 0 について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を 3. 0 %、 $\Delta 2$ を - 0. 7 %、 $\Delta 3$ を 0. 6 % に固定するとともに、R a、R b、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で 2 c を変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図 2 1 において、グラフ G 2 0 1 0 は R a を 0. 2 6、R b を 0. 7 0 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 2 0 は R a を 0. 2 8、R b を 0. 7 0 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 3 0 は R a を 0. 3 0、R b を 0. 7 0 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 4 0 は R a を 0. 3 2、R b を 0. 7 0 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 5 0 は直径 4 0 m m での曲げ損失を 0. 0 1 d B / k m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 6 0 は直径 6 0 m m での曲げ損失を 0. 0 1 d B / k m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2 0 7 0 はカットオフ波長を 1 5 5 0 n m に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0129】

この図 2 1 において、斜線領域 A 6 はこの発明に係る分散補償器に適用可能な

光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプ No. 10 の諸特性も、この領域 A 6 に含まれていることが分かる。

【0130】

さらに、図 22 は、上記タイプ No. 11 について、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフであり、特に、このグラフでは、 $\Delta 1$ を 3.1%、 $\Delta 2$ を -0.74%、 $\Delta 3$ を 0.32% に固定するとともに、 R_a 、 R_b 、曲げ損失、カットオフ波長をそれぞれ所定値に固定した状態で $2c$ を変化させたときの波長分散と分散スロープとの関係が示されている。なお、この図 22 において、グラフ G 2110 は R_a を 0.18、 R_b を 0.44 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2120 は R_a を 0.19、 R_b を 0.44 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2130 は R_a を 0.20、 R_b を 0.44 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2140 は R_a を 0.22、 R_b を 0.44 にそれぞれ固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、グラフ G 2150 は直径 40 mm での曲げ損失を 0.01 dB/km に固定したときの波長分散と分散スロープとの関係、をそれぞれ示している。

【0131】

この図 22 において、斜線領域 A 7 はこの発明に係る分散補償器に適用可能な光ファイバの最適条件を示す領域であり、上記タイプ No. 11 の諸特性も、この領域 A 7 に含まれていることが分かる。

【0132】

発明者らは、上述のタイプ No. 5 ~ No. 11 をこの発明に係る分散補償器に適用することにより、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において $-390 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに $110 \text{ mm} \times 110 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ の外寸（縦 $D \times$ 横 $W \times$ 高さ H ）を有する分散補償器が得られる一方、外径が $145 \mu\text{m}$ 以下の被覆層を有する分散補償光ファイバが適用される場合、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において $-640 \sim 0 \text{ ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに $110 \text{ mm} \times 110 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ の外寸（縦 $D \times$ 横 $W \times$ 高さ H ）を有する分散補償器が得られることを確認した。また発明者らは、上述のタイプ No. 5 ~ No. 11 を当該分散補

償器に適用することにより、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-270\sim 0\ \text{ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに $110\text{mm}\times 110\text{mm}\times 14\text{mm}$ の外寸（縦 $D\times$ 横 $W\times$ 高さ H ）を有する分散補償器が得られる一方、外径が $145\ \mu\text{m}$ 以下の被覆層を有する分散補償光ファイバが適用される場合、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $-440\sim 0\ \text{ps/nm}$ の累積波長分散を有するとともに $110\text{mm}\times 110\text{mm}\times 14\text{mm}$ の外寸（縦 $D\times$ 横 $W\times$ 高さ H ）を有する分散補償器が得られ、さらにコンパクト化できることも確認した。

【0133】

【発明の効果】

以上のようにこの発明によれば、コンパクトな分散補償器、それを含む光伝送システム、該分散補償器の更なるコンパクト化を実現可能にする光ファイバが得られるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

この発明に係る分散補償器における 1 実施形態の構成を示す断面図である。

【図2】

この発明に係る分散補償器における第 1 実施形態の構成を示す平面図（蓋部を取り外した状態）である。

【図3】

この発明に係る分散補償器における第 2 実施形態の構成を示す断面図である。

【図4】

この発明に係る分散補償器における第 2 実施形態の構成を示す断面図（蓋部を取り外した状態）平面図である。

【図5】

この発明に係る分散補償器における第 3 実施形態の構成を示す断面図である。

【図6】

この発明に係る分散補償器における第 3 実施形態の構成を示す平面図（蓋部を取り外した状態）である。

【図7】

この発明に係る分散補償器に適用可能な分散補償光ファイバの一例として用意されたタイプ No. 1～No. 4 の光ファイバについて説明するための表である。

【図 8】

タイプ 1 に属する分散補償光ファイバの構造を示す断面図及びその屈折率プロファイルである。

【図 9】

タイプ 2、3 及び 4 に属する分散補償光ファイバの構造を示す断面図及びその屈折率プロファイルである。

【図 10】

この発明に係る分散補償器の一例として用意されたサンプル 1～19 の特性及び外寸等を説明するための表である。

【図 11】

用意されたサンプル 1～19 について、筐体体積 V (cm^3) と累積波長分散 AD (ps/nm) の関係、及び、挿入損失 IL (dB) と累積波長分散 AD (ps/nm) の関係を示すグラフである。

【図 12】

この発明に係る光伝送システムにおける第 1 実施形態の構成を示す図である。

【図 13】

この発明に係る光伝送システムにおける第 2 実施形態の構成を示す図である。

【図 14】

この発明に係る光伝送システムにおける第 3 実施形態の構成を示す図である。

【図 15】

この発明に係る分散補償器に適用可能な分散補償光ファイバ（この発明に係る光ファイバ）の一例として用意されたタイプ No. 5～No. 11 の光ファイバにおける構造及び諸特性を説明するための表である。

【図 16】

タイプ No. 5 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 1 7】

タイプ N o . 6 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 1 8】

タイプ N o . 7 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 1 9】

タイプ N o . 8 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 2 0】

タイプ N o . 9 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 2 1】

タイプ N o . 1 0 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【図 2 2】

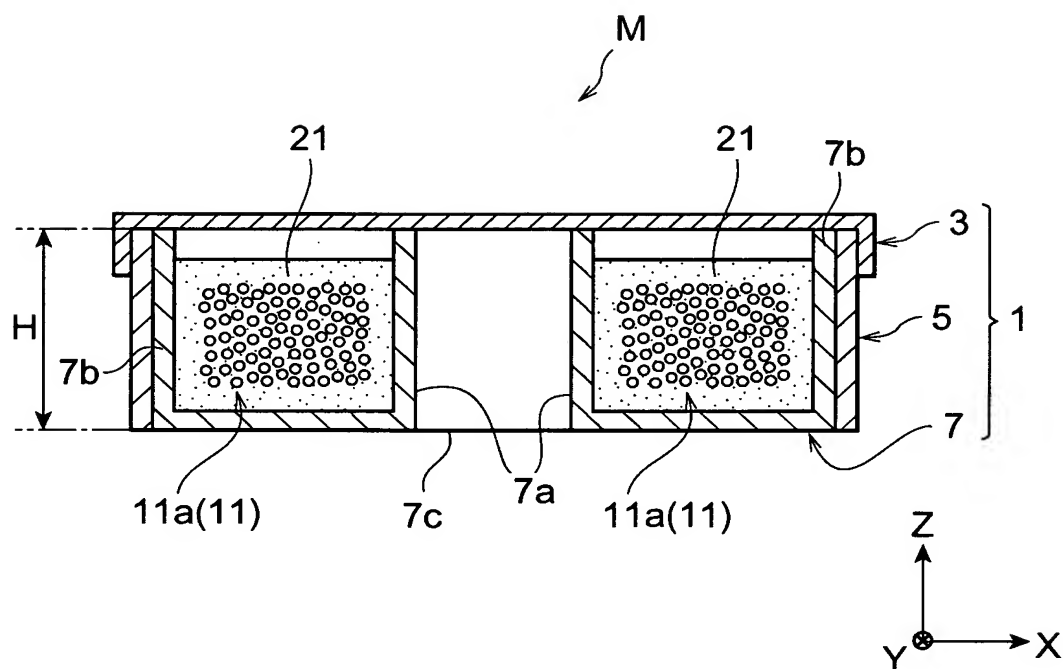
タイプ N o . 1 1 の光ファイバについて、その波長分散と分散スロープとの関係を示したグラフである。

【符号の説明】

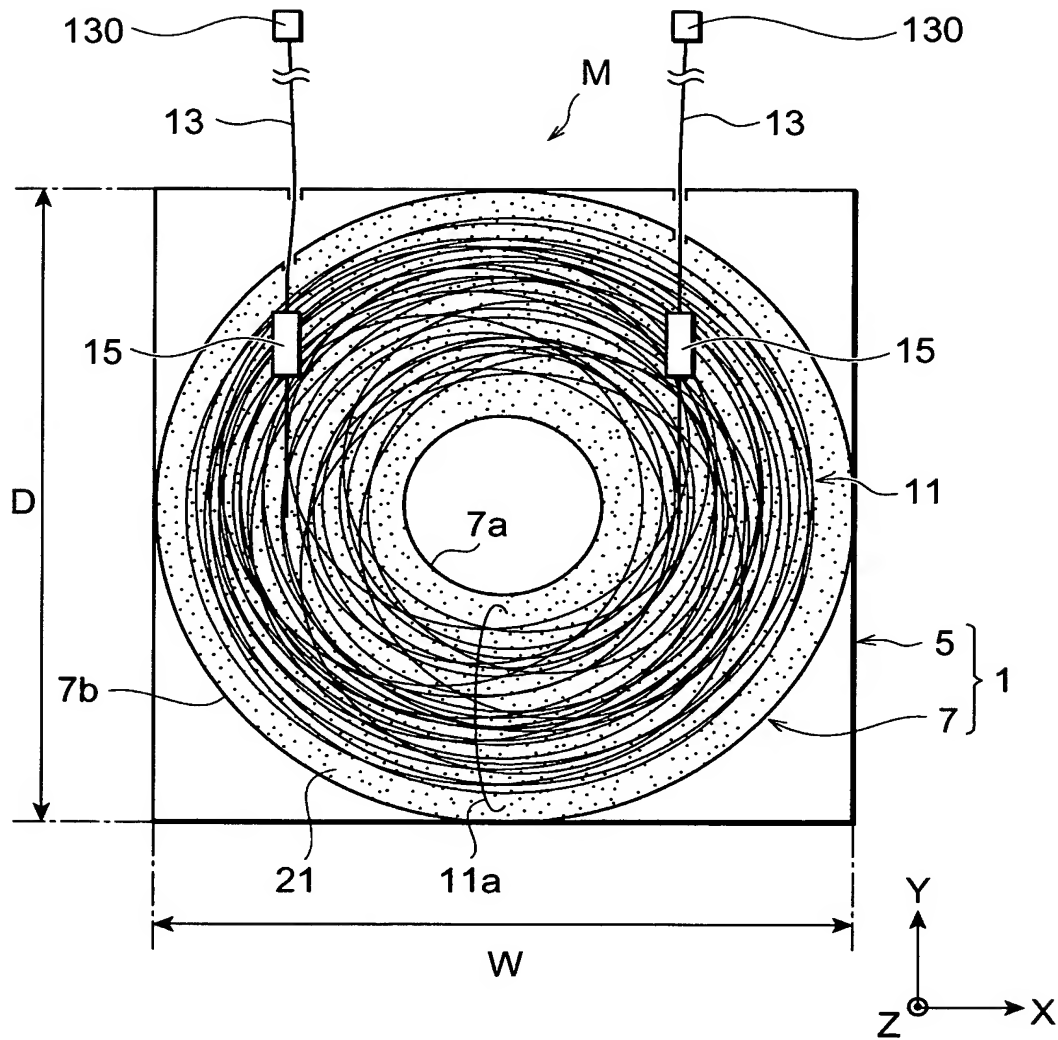
1…筐体、1 1…光ファイバコイル、1 1 a…コイル形状部、1 7…ボビン、2 1…樹脂、5 1, 6 1…光伝送システム、5 3…送信器、5 5…伝送用光ファイバ、5 7…受信器、6 3…合波器、6 5…分波器、6 7…光アンプ、M…分散補償器、1 0 0、2 0 0…分散補償光ファイバ。

【書類名】 図面

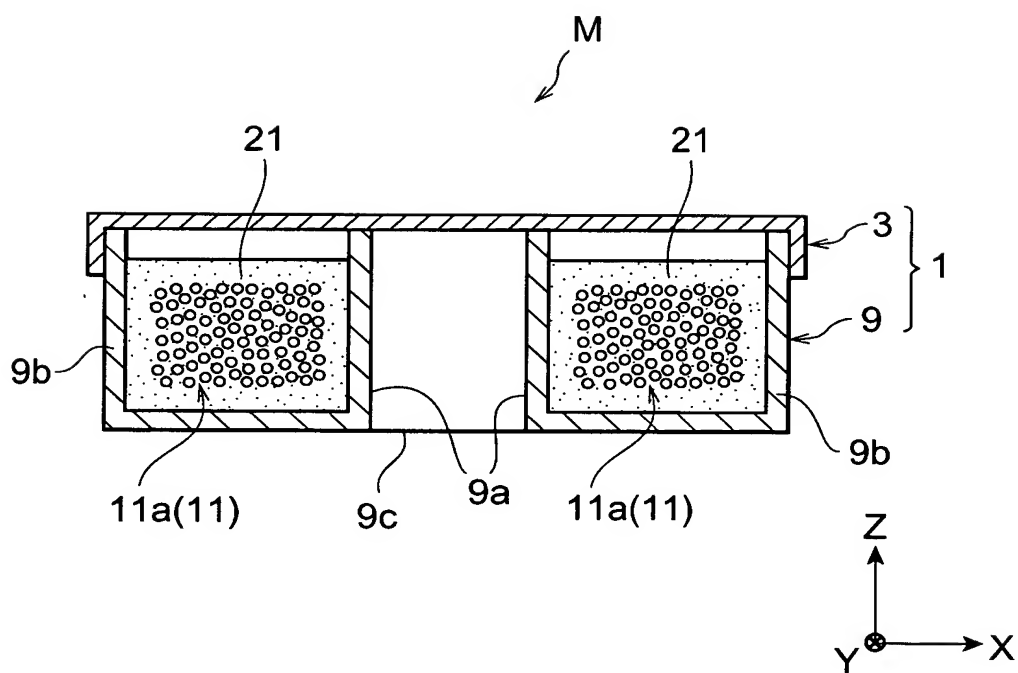
【図 1】



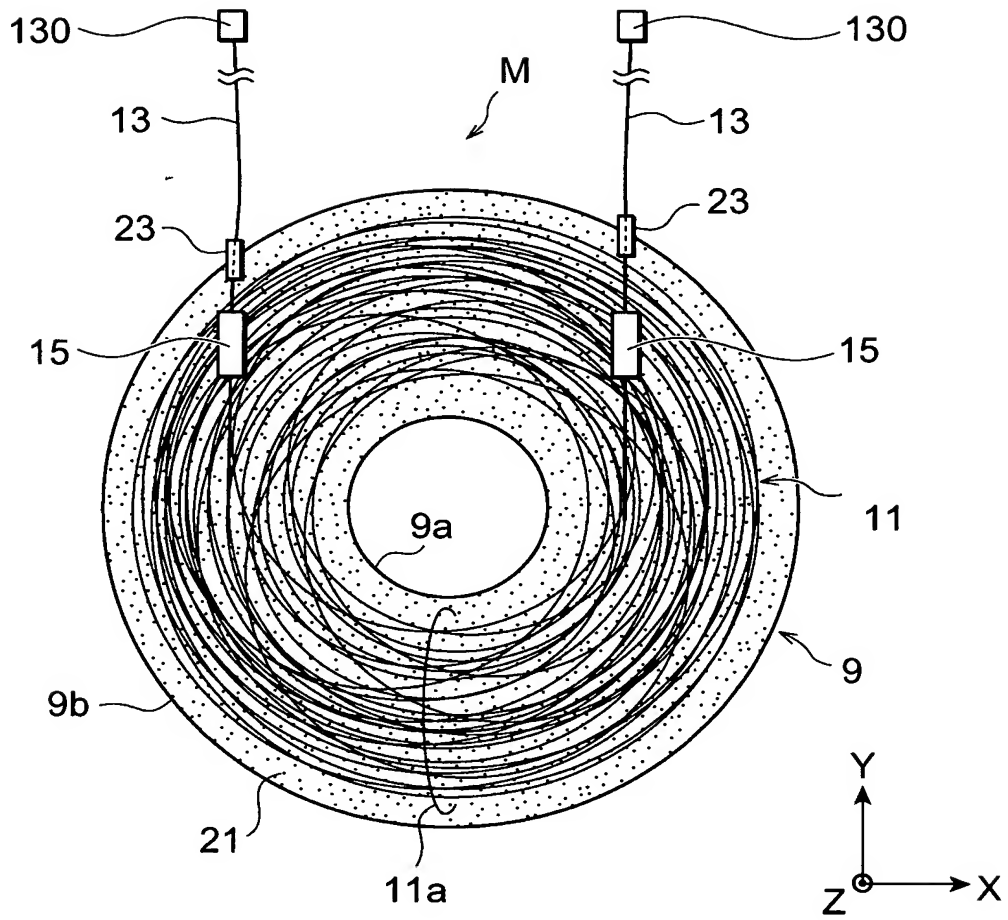
【図 2】



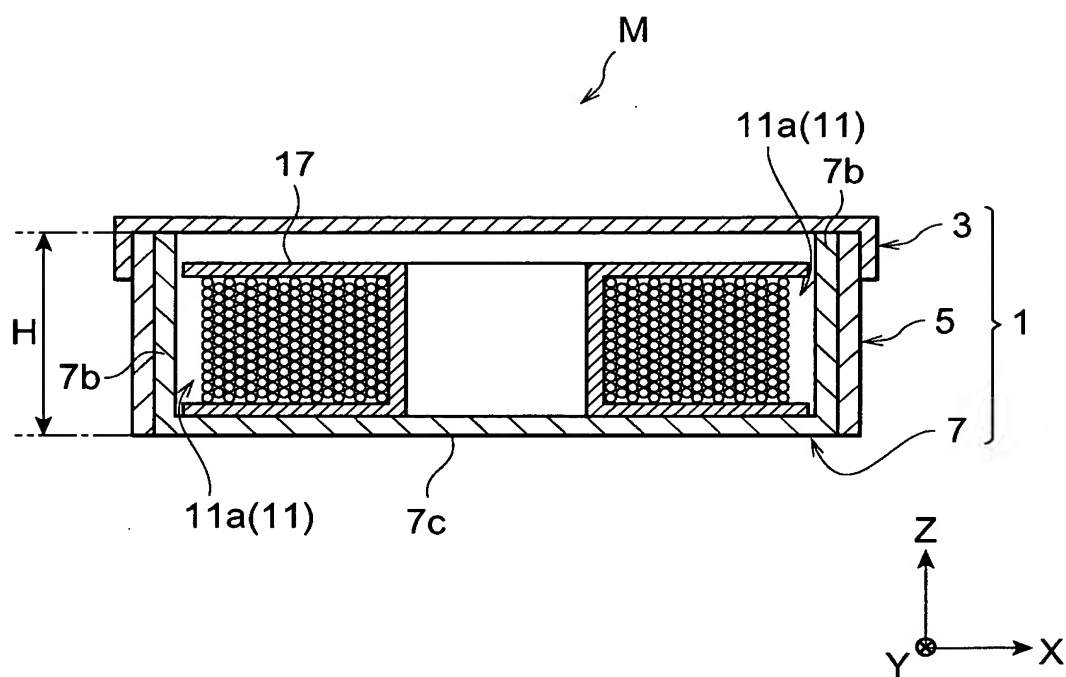
【図 3】



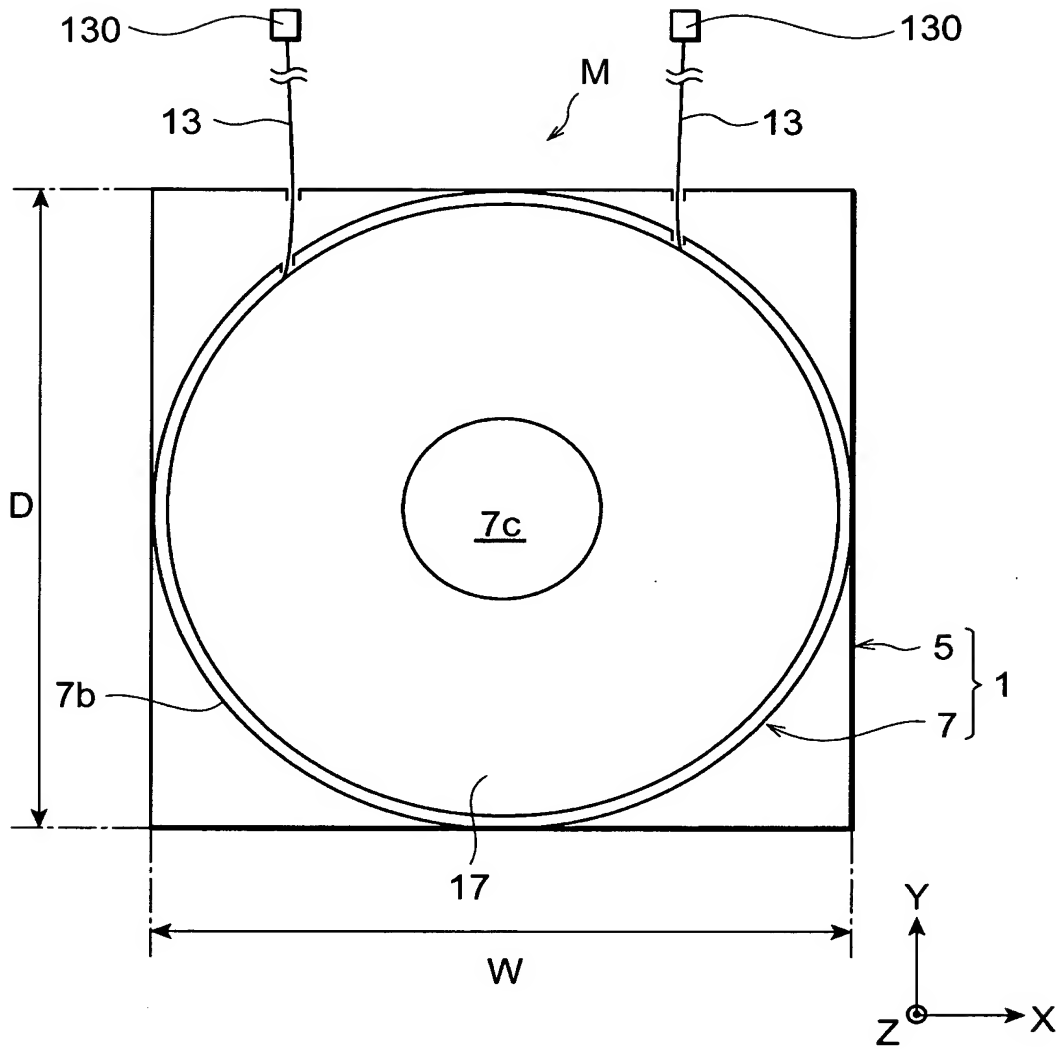
【図 4】



【図 5】



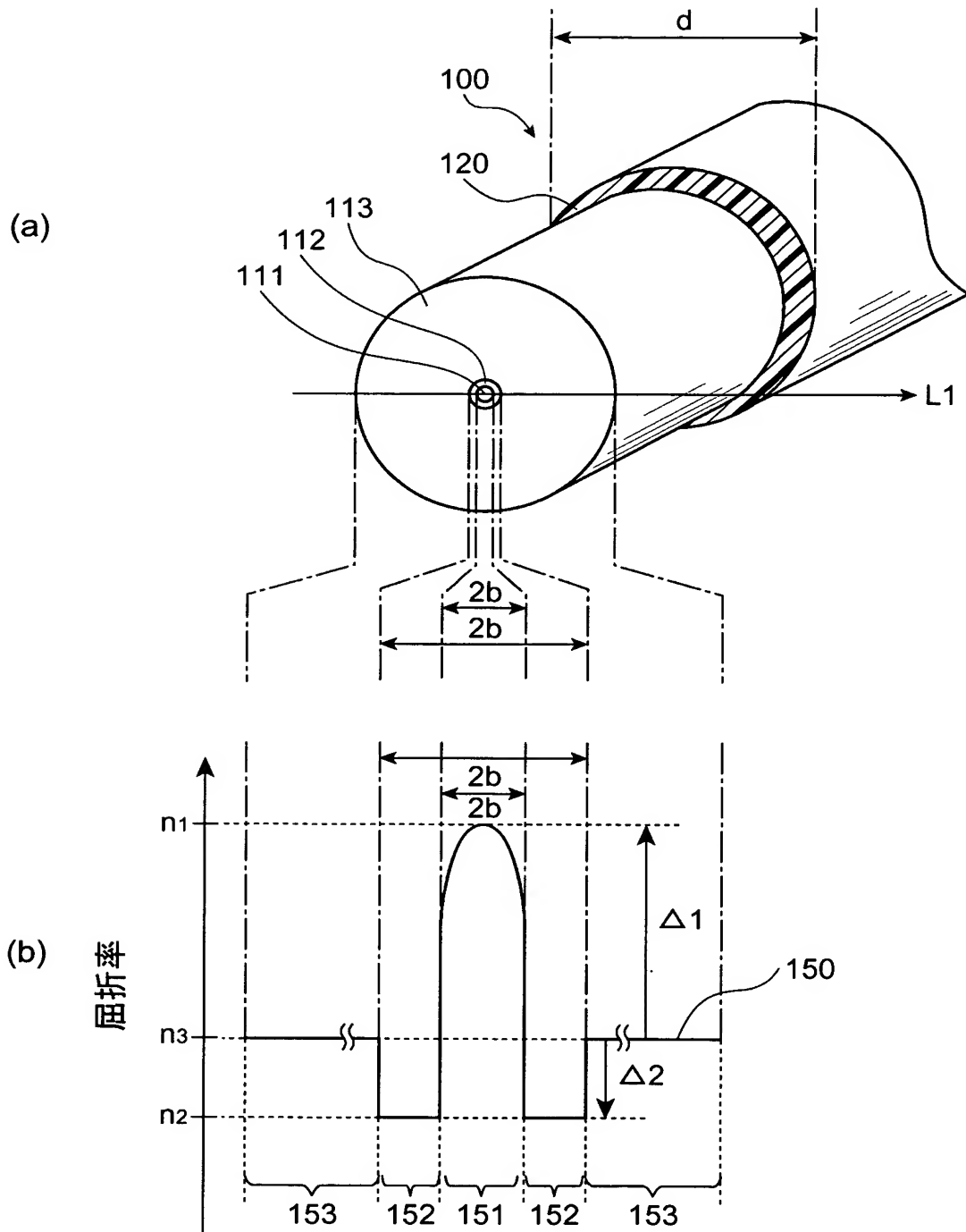
【図 6】



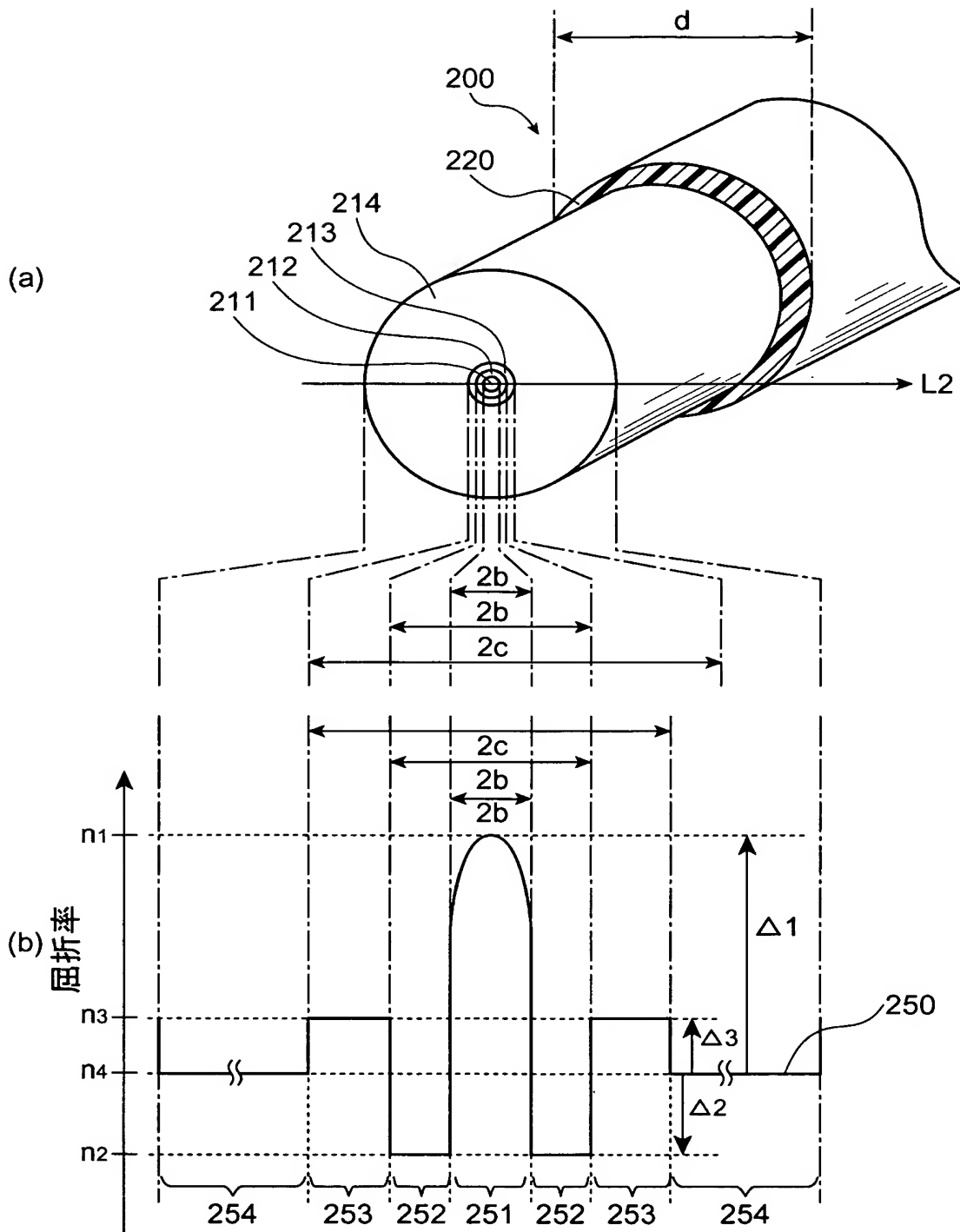
【図 7】

タイプ	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	2a (μm)	2b (μm)	2c (μm)	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm ² /km)	実効カット オフ波長 (μm)	MFD (μm)	直径40mm での曲げ損失 (dB/km)	直径60mm での曲げ損失 (dB/km)
No.1	3.0	-0.35	/	2.5	6.2	/	-147	-0.120	0.71	4.3	8.69	0.02
No.2	2.4	-0.72	0.30	3.4	7.4	15.4	-242	-0.655	1.65	4.5	0.06	<0.001
No.3	3.0	-0.72	0.30	2.8	7.0	14.0	-320	-0.595	1.47	4.2	0.44	<0.001
No.4	2.7	-0.76	0.31	2.72	7.3	14.3	-329	-0.582	1.58	4.3	0.11	<0.001

【図 8】



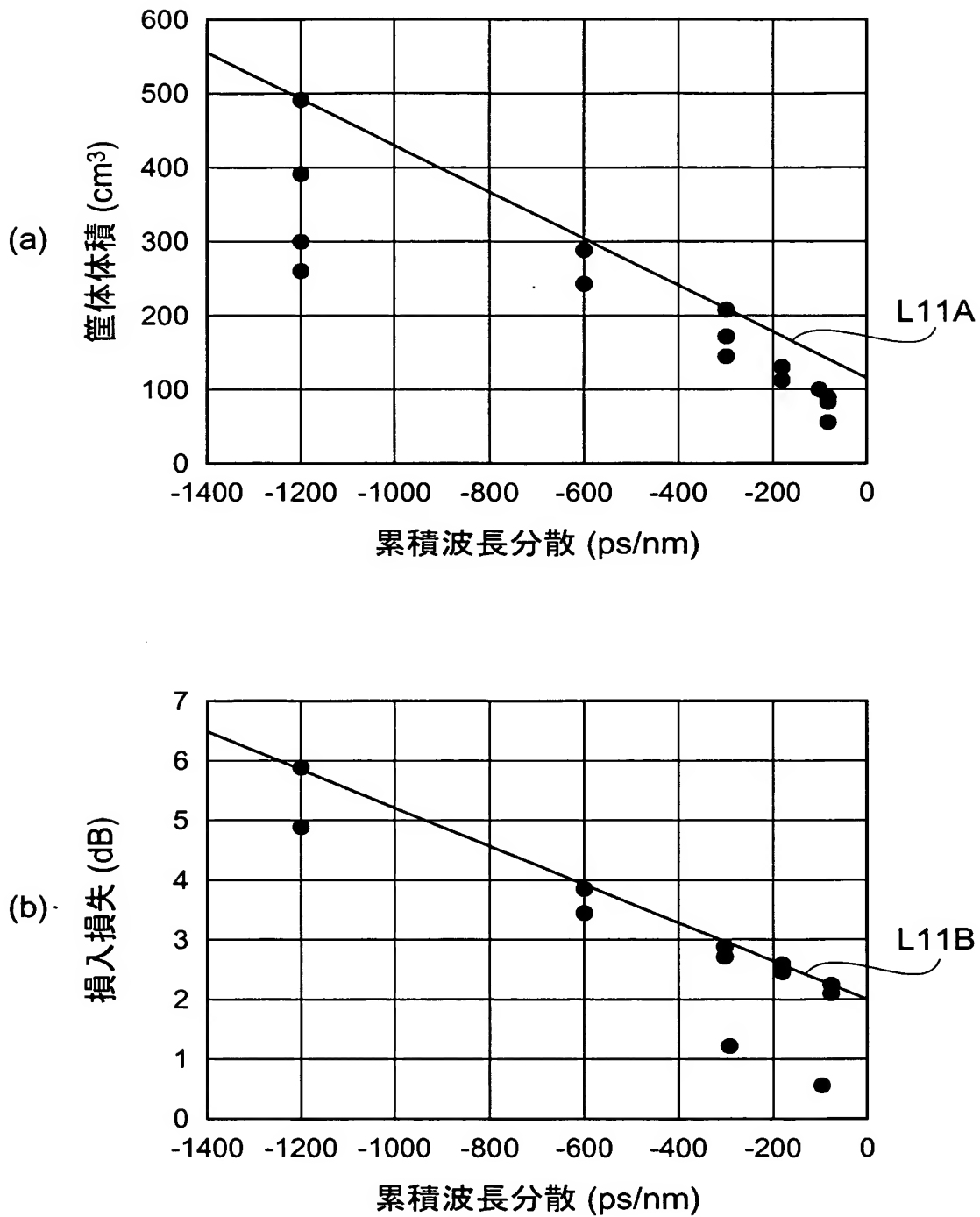
【図 9】



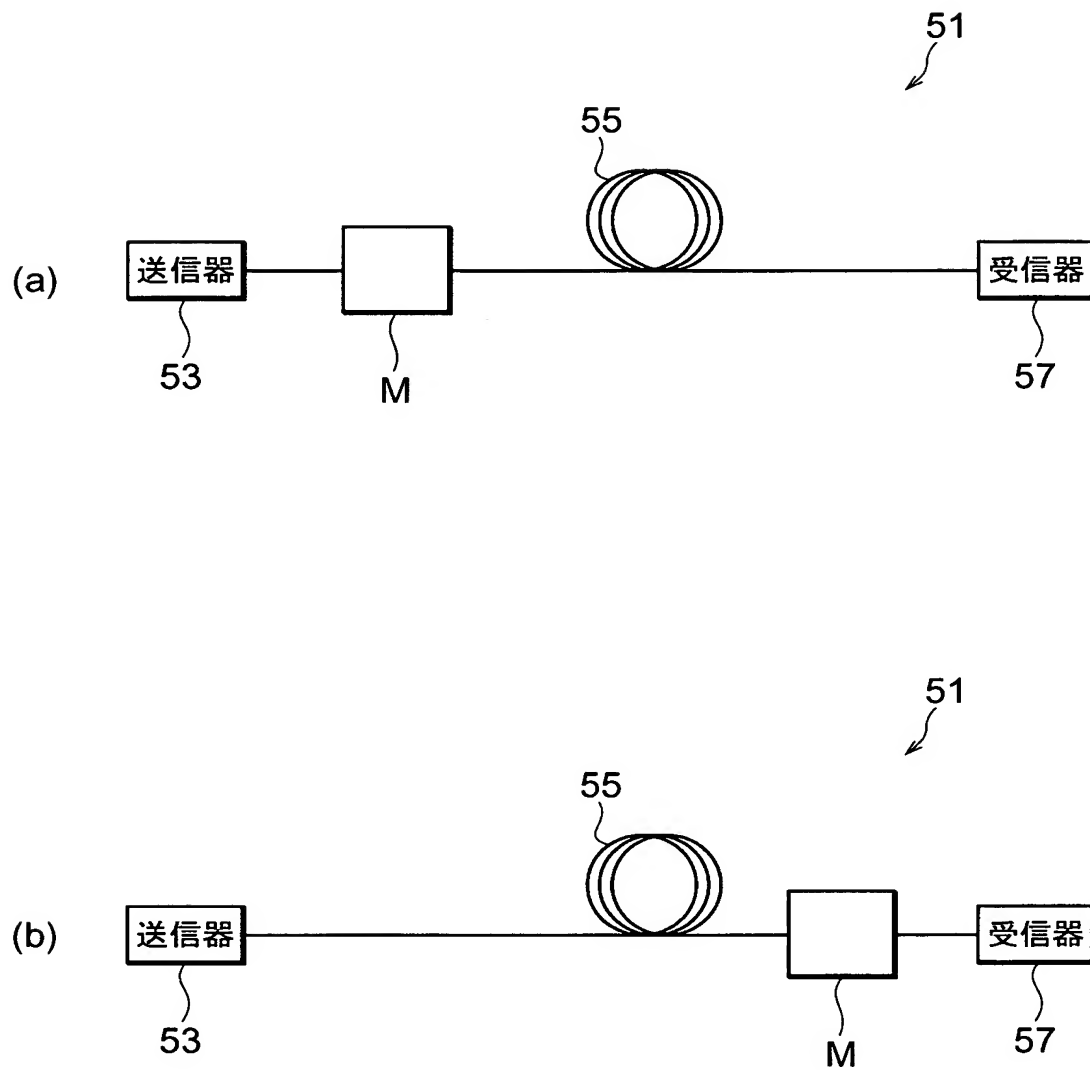
【図10】

サンプル No	ファイバ タイプ	ファイバ 長 (km)	ガラス径 (μm)	被覆径 (μm)	累積 波長分散 (ps/nm)	総分散 スロープ (ps/nm ²)	挿入損失 (dB)	巻胴径 (mm)	巻外径 (mm)	巻幅 (mm)	縦D (mm)	横W (mm)	高さH (mm)	体積 (cm ³)	ファイバ 収納形態
1	No.1	2.05	80	120	-300	-0.25	3.5	58	82	12	102	102	17	177	樹脂保持
2	No.1	4.09	80	120	-600	-0.49	5.2	58	101	12	121	121	17	249	樹脂保持
3	No.1	2.05	90	145	-300	-0.25	3.5	58	91	12	111	111	17	209	樹脂保持
4	No.1	4.09	90	145	-600	-0.49	5.2	58	115	12	135	135	17	310	樹脂保持
5	No.2	0.33	125	185	-80	-0.22	2.2	40	54	12	74	74	17	93	樹脂保持
6	No.2	0.74	125	185	-180	-0.49	2.5	40	68	12	88	88	17	132	樹脂保持
7	No.2	1.24	125	185	-300	-0.81	2.9	40	81	12	101	101	17	173	樹脂保持
8	No.2	2.48	125	185	-600	-1.63	3.9	50	111	12	131	131	17	292	樹脂保持
9	No.2	4.97	125	185	-1200	-3.25	5.9	50	150	12	170	170	17	491	樹脂保持
10	No.3	0.25	125	185	-80	-0.15	2.1	40	51	12	71	71	17	86	樹脂保持
11	No.3	0.56	125	185	-180	-0.34	2.4	40	62	12	82	82	17	114	樹脂保持
12	No.3	0.94	125	185	-300	-0.56	2.7	40	73	12	93	93	17	147	樹脂保持
13	No.3	1.88	125	185	-600	-1.12	3.4	50	100	12	120	120	17	245	樹脂保持
14	No.3	3.76	125	185	-1200	-2.23	4.9	50	132	12	152	152	17	393	樹脂保持
15	No.3	3.76	90	145	-1200	-2.23	4.9	40	104	12	124	124	17	261	樹脂保持
16	No.3	3.76	90	145	-1200	-2.23	4.9	40	153	5	173	173	10	299	樹脂保持
17	No.3	0.25	125	185	-80	-0.15	2.1	40	56	5	76	76	10	58	樹脂保持
18	No.4	0.3	125	185	-100	-0.177	0.53	58	80	5	100	105	10	105	樹脂保持
19	No.4	0.91	125	185	-300	-0.531	1.2	58	85	12	100	105	20	210	樹脂保持

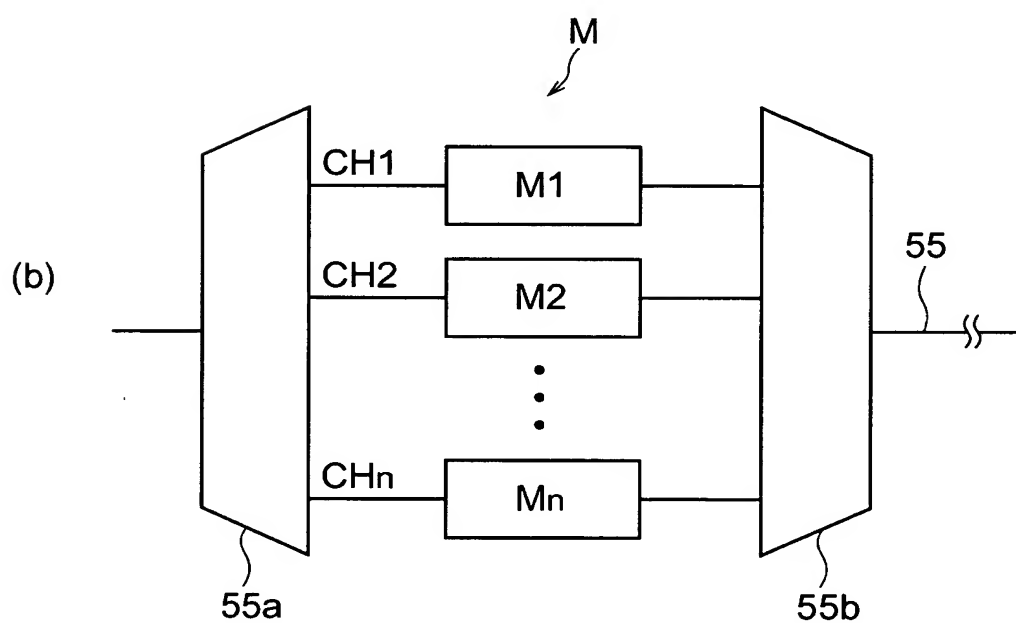
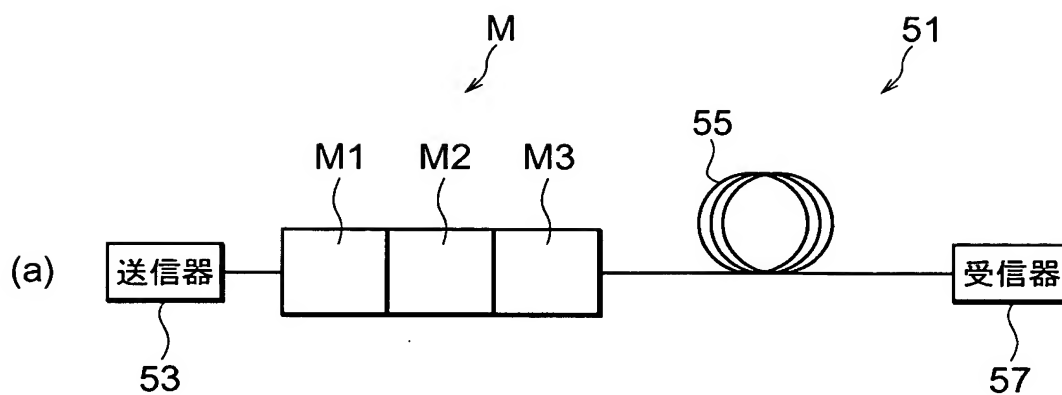
【図 11】



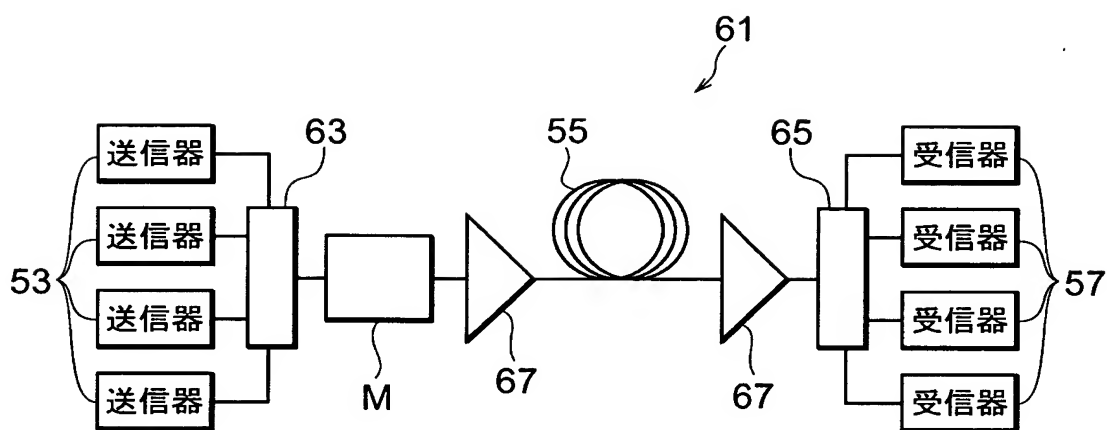
【図 12】



【図 13】



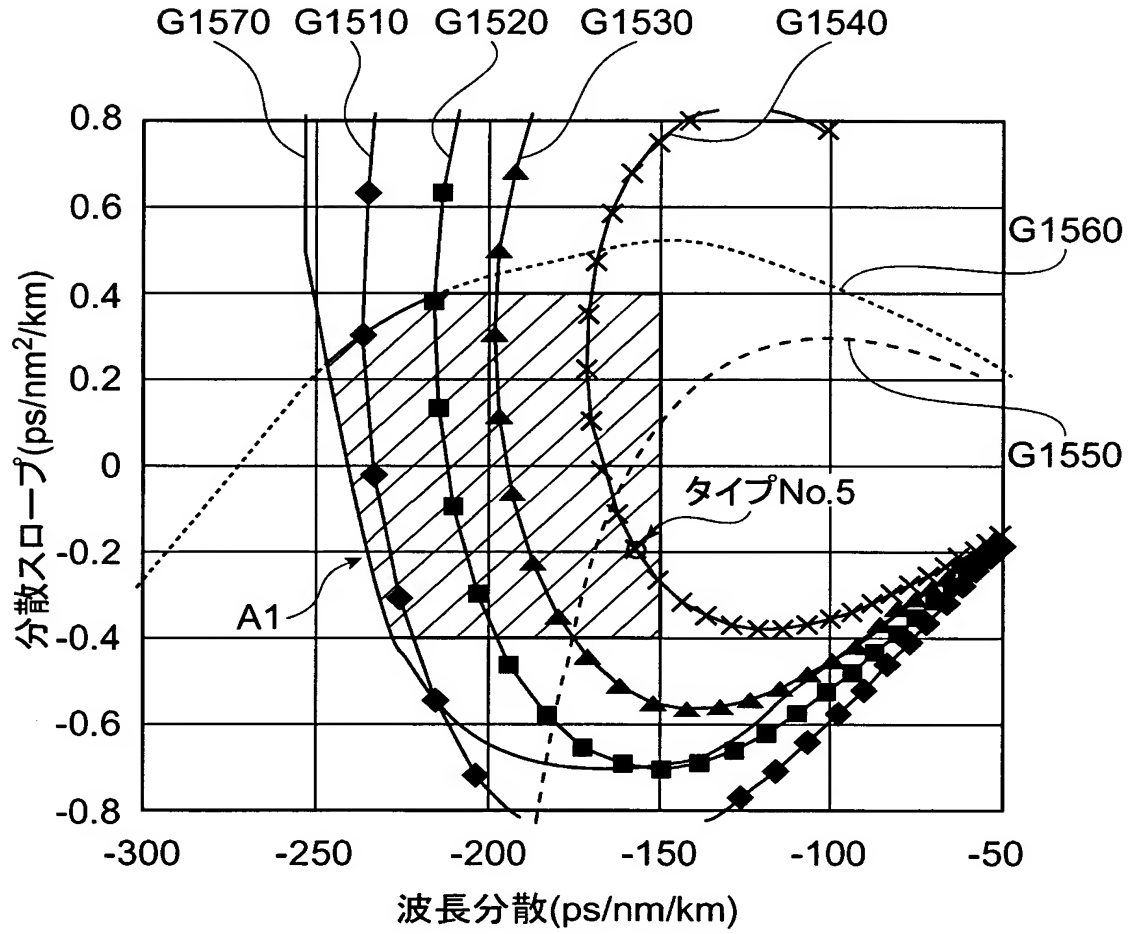
【図 14】



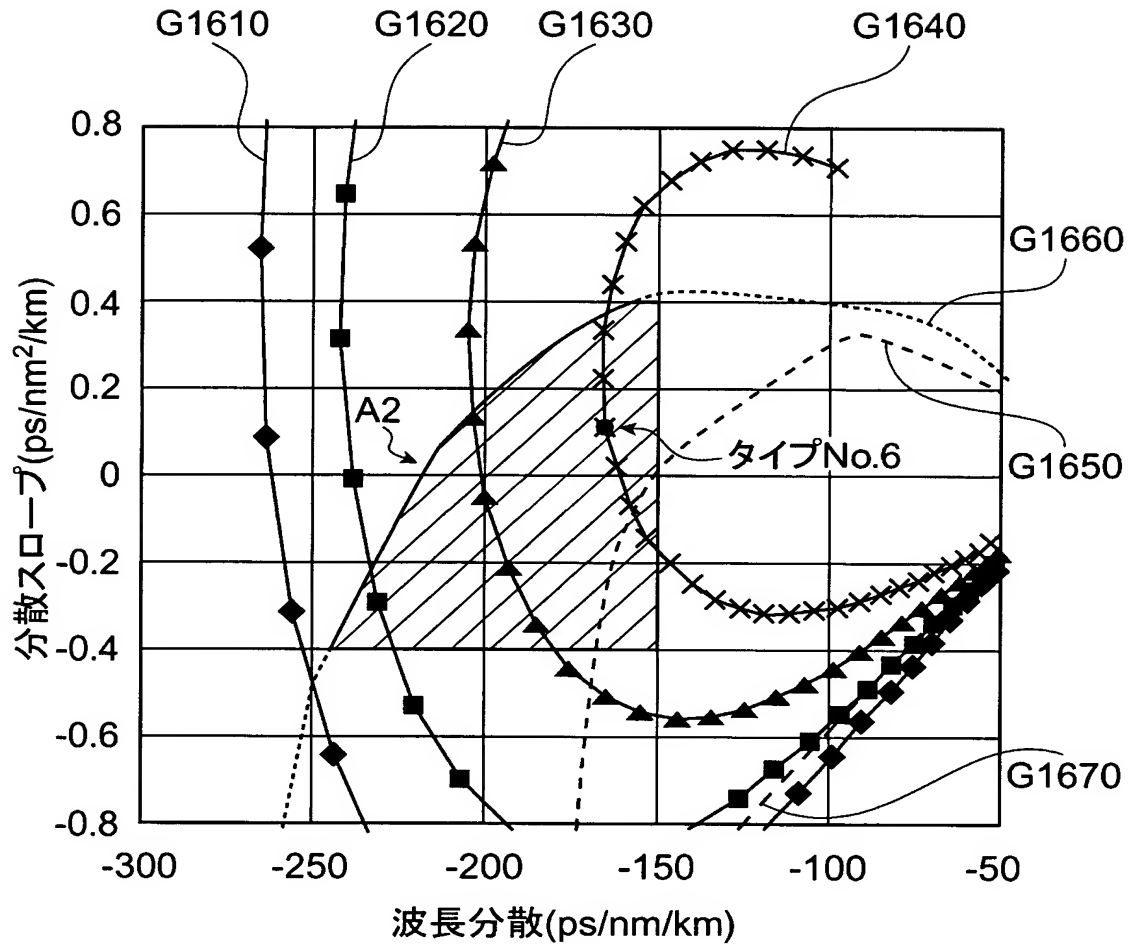
【図 15】

タイプ	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	Ra	Rb	2C (μm)	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm ² /km)	カットオフ波長 (μm)	Aeff (μm^2)	2Cの $\pm 2\%$ 変動 による波長分散 の最大変化(%)
No.5	2.4	-0.6	0.6	0.30	0.7	11.1	-158	-0.193	1.372	16.4	8.6
No.6	2.4	-0.7	0.6	0.33	0.7	10.0	-165	0.117	1.218	19.4	4.2
No.7	2.7	-0.5	0.6	0.26	0.7	11.4	-184	-0.197	1.438	15.7	8.2
No.8	2.7	-0.7	0.6	0.30	0.7	10.0	-206	0.091	1.216	17.9	5.2
No.9	3.0	-0.5	0.6	0.24	0.7	11.1	-230	0.120	1.400	17.5	4.7
No.10	3.0	-0.7	0.6	0.26	0.7	10.7	-267	-0.378	1.295	15.2	10.3
No.11	3.1	-0.74	0.32	0.19	0.44	14.7	-321	-0.132	1.706	16.6	10.8

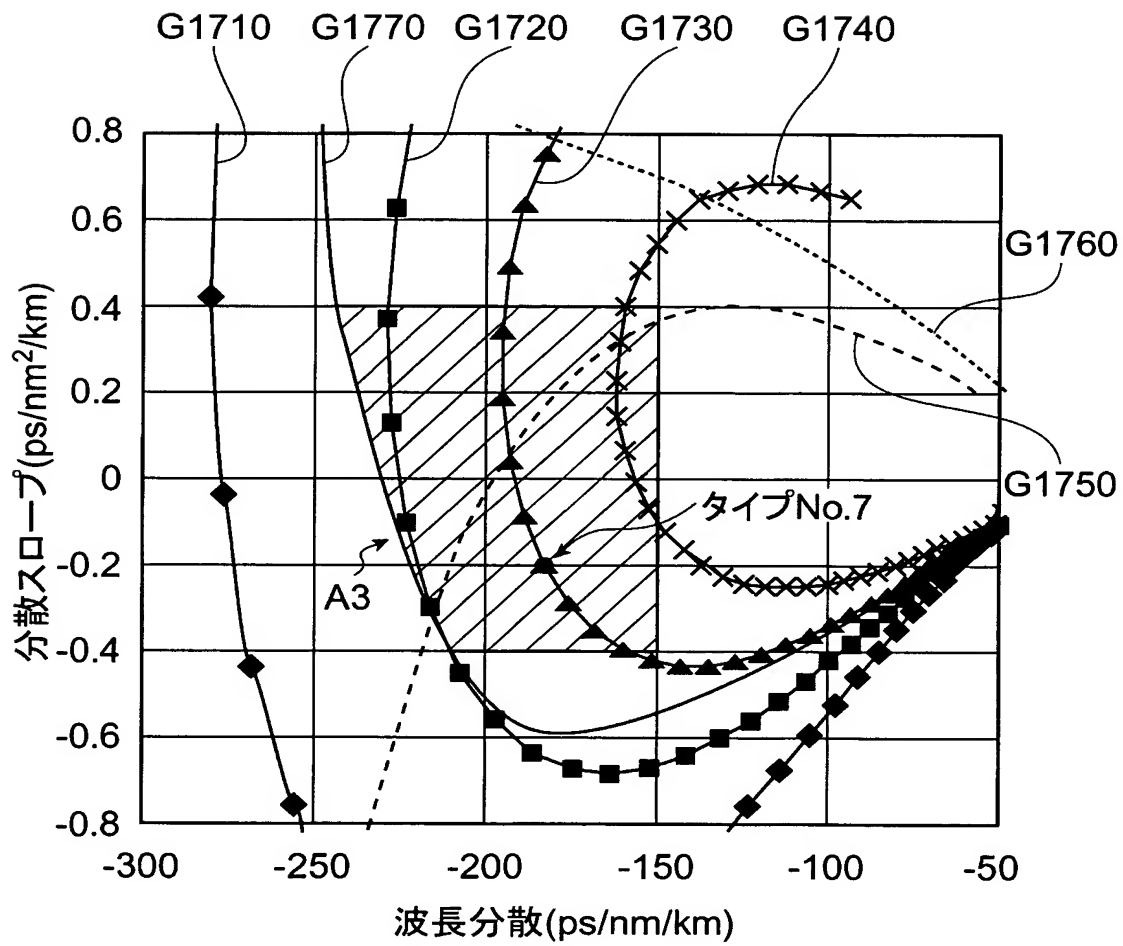
【図 16】



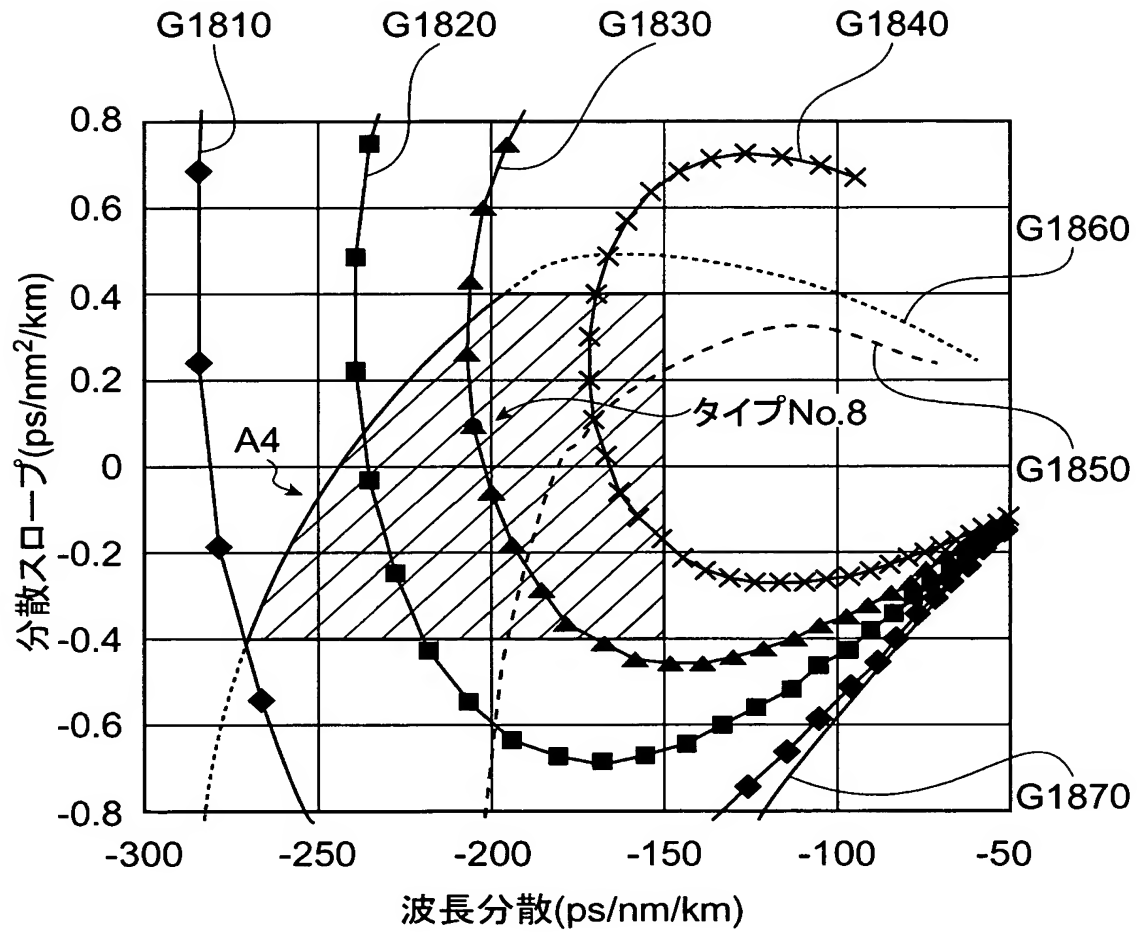
【図 17】



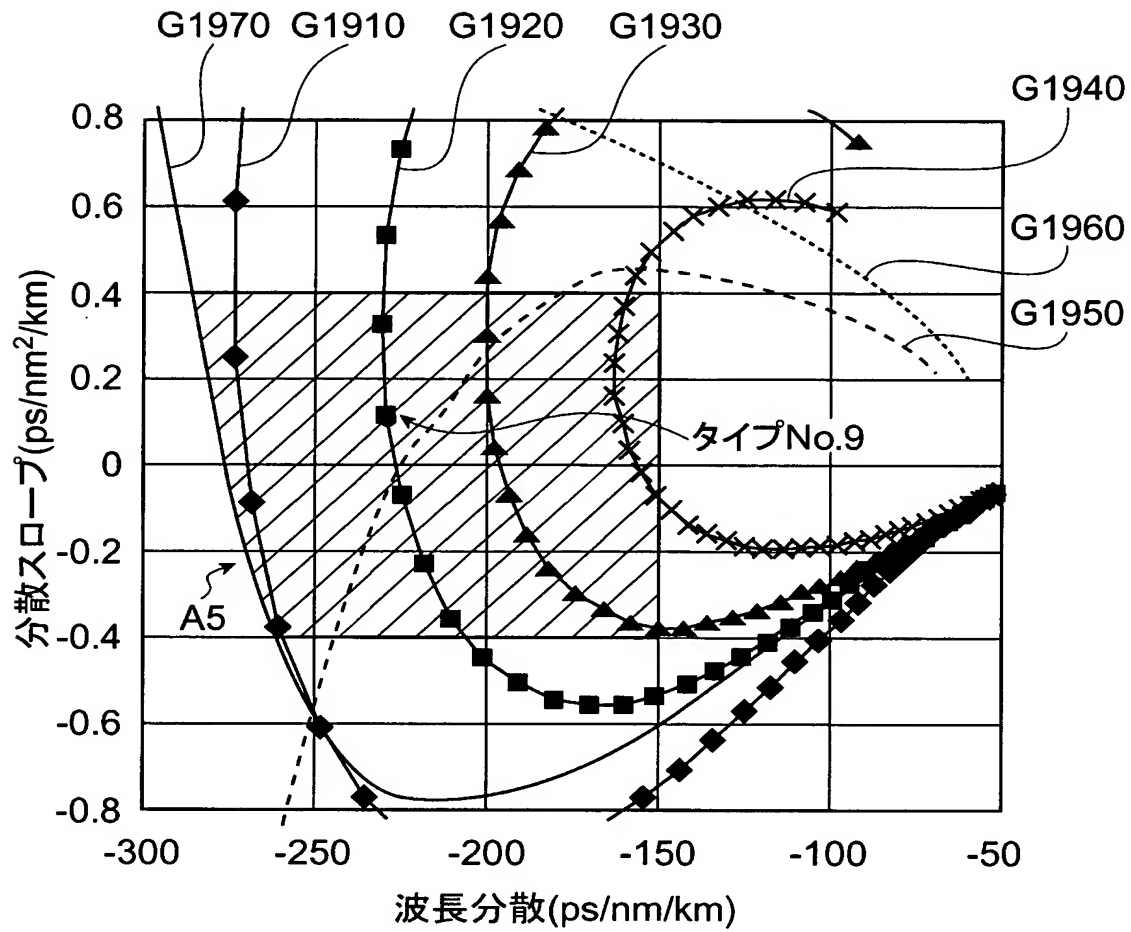
【図 18】



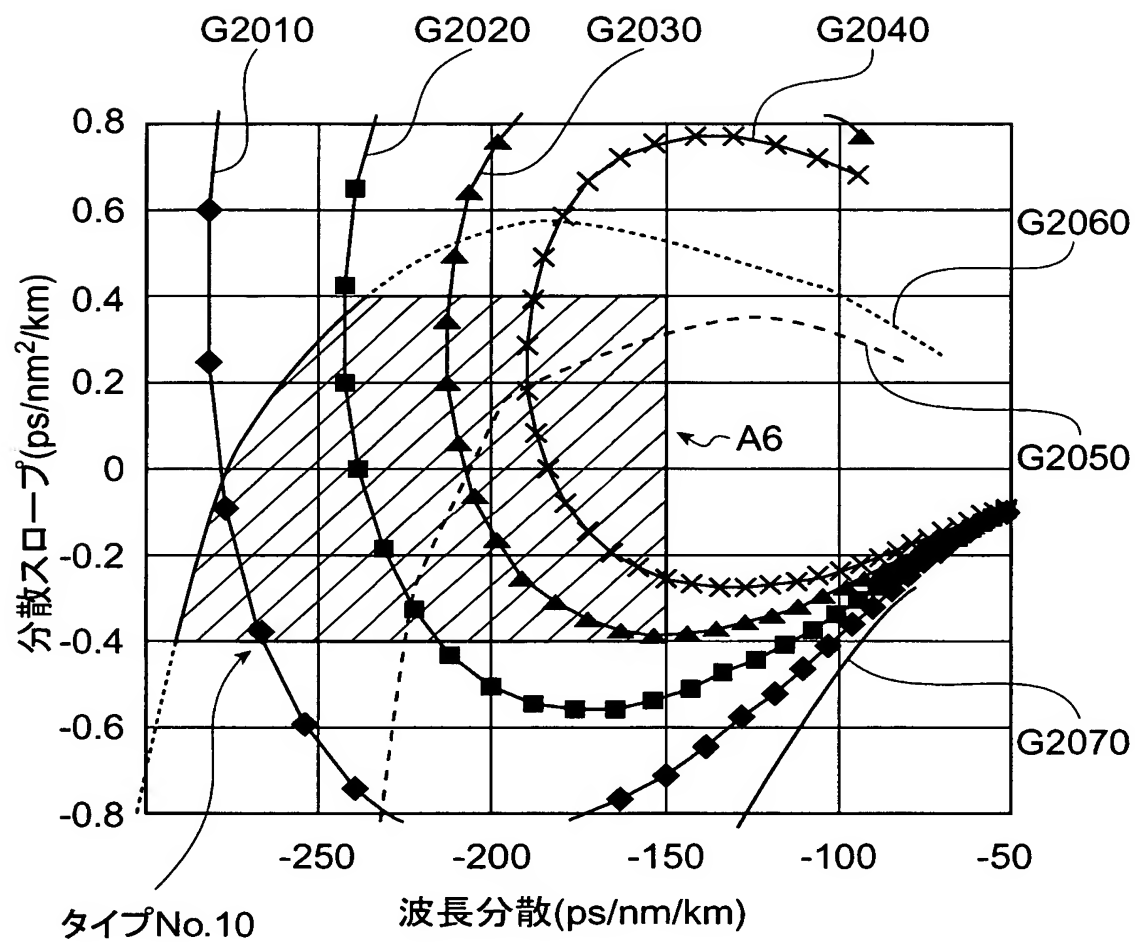
【図 19】



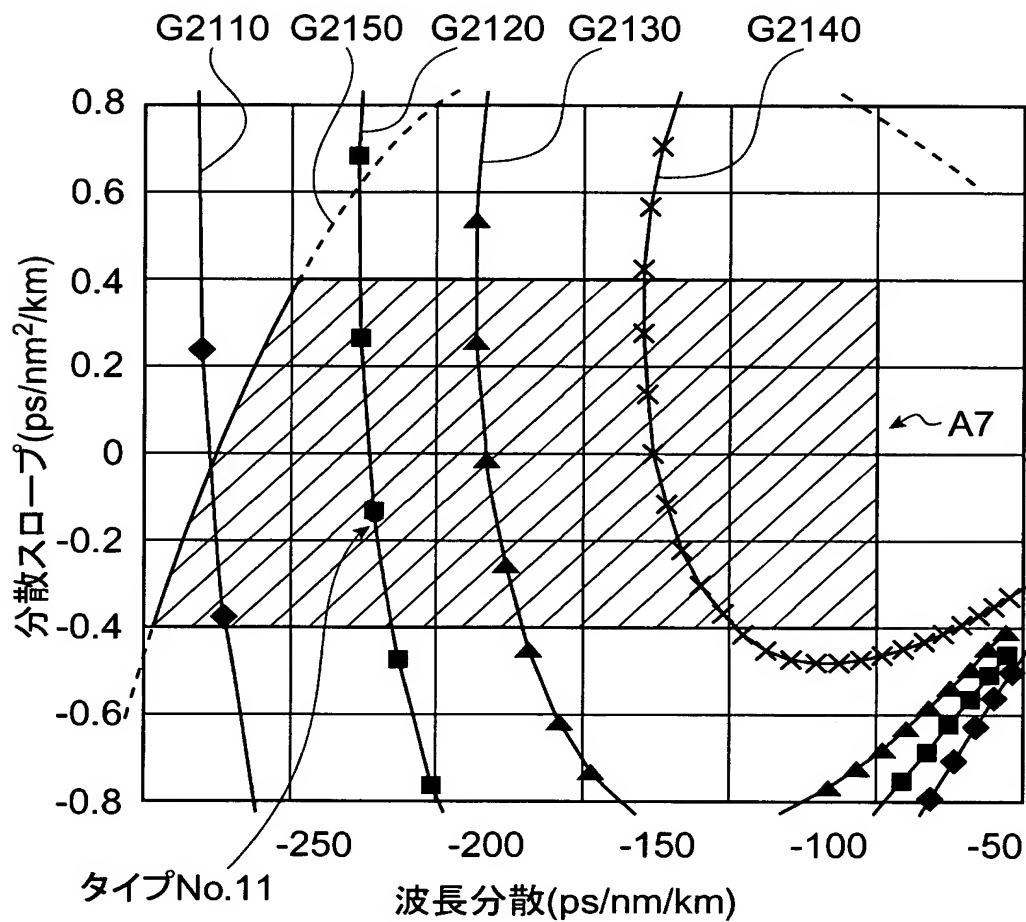
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 コンパクトな分散補償器及び光伝送システムを提供する。

【解決手段】 分散補償器(M)は、筐体(1)と光ファイバコイル(11)とを有する。光ファイバコイル(11)は、分散補償光ファイバをコイル状に巻くことにより構成され、その巻き歪みが実質的に解放された束状態とされているコイル形状部(11a)を有する。筐体(1)内には、光ファイバコイル(11)のコイル形状部(11a)を取り囲むように樹脂(21)が充填されており、この樹脂(21)によりコイル形状部(11a)が保持されている。この構成により、当該分散補償器(M)は、筐体(1)の体積を 500cm^3 以下に抑えた状態で波長 $1.55\mu\text{m}$ において -1200ps/nm 以上かつ -600ps/nm 未満に累積波長分散が得られる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 4 8 1 1 7

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名

住友電気工業株式会社